



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

**APLICACIÓN DE COMPOST DE CAMA PROFUNDA PORCINA EN UN SISTEMA
PRODUCTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) A CAMPO**

MAURICIO ORTIZ MACKINSON

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE

MAGISTER EN MANEJO Y

CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES

DIRECTORA: ING. AGR. MSC. BEATRIZ BONEL

CO-DIRECTOR: ING. AGR. DR. OSVALDO VALENZUELA

2020

**APLICACIÓN DE COMPOST DE CAMA PROFUNDA PORCINA EN UN SISTEMA
PRODUCTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) A CAMPO**

Mauricio Ortiz Mackinson

Ingeniero Agrónomo - Facultad de Ciencias Agrarias, UNR

Esta tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magister en Manejo y Conservación de Recursos Naturales, de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en ésta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en la Sección de Horticultura de la Facultad Nacional de Rosario, durante el período comprendido entre mayo de 2017 y junio de 2018, bajo la dirección de la Ing. Agr. MSc. Beatriz Bonel y el Ing. Agr. Dr. Osvaldo Valenzuela.

Nombre y firma del Maestrando: Mauricio Ortiz Mackinson



Nombre y firma de la Directora: Beatriz Bonel



Nombre y firma del Co-Director: Osvaldo Valenzuela



Defendida: xxx de 2020

AGRADECIMIENTOS

- A mis directores Beatriz y Osvaldo por su constante orientación y colaboración.
- A Rosana Rotondo, Rodolfo Grasso, Gabriela Montian, David Balabán y Eduardo Vita Larrieu por la generosidad en su ayuda.
- Al resto de mis compañeros de la Cátedra de Horticultura.
- A todos los ayudantes que participaron en los trabajos de campo y análisis de datos.
- A los docentes que me formaron en el área de la Horticultura.
- A mi Facultad de Ciencias Agrarias por brindarme la posibilidad de utilizar sus instalaciones para desarrollar esta tesis.
- A mi familia incondicional.
- A la Maestría Manejo y Conservación de Recursos Naturales por la formación brindada.
- Y a todos los que de alguna manera aportaron y participaron en la generación de este trabajo.

PRESENTACIONES A CONGRESOS, JORNADAS Y SIMPOSIOS

- **Ortiz Mackinson, M.;** Grasso, R.; Balaban, D.; Vita Larrieu, E.; Rotondo, R.; Stodart, V.; Battistelli S.; Bonel, B. Aplicación de compost de cama profunda porcina en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). XIX Congreso y XXXVII Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Rosario. 28 y 29 de noviembre de 2017.
- **Ortiz Mackinson, M.;** Borsini, G.; Carignano, A.; Grasso, R.; Valenzuela, O.; Bonel, B. Uso de compost de cama porcina en sistemas hortícolas en el sur de Santa Fe. II Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales del NOA y Cuyo. San Juan, Argentina. Año 2018. Presentación oral.
- D'Eletto, J.; Bonel, B.; Grasso, R.; **Ortiz Mackinson, M.;** Rotondo, R.; Valenzuela, O. Efecto de la incorporación de compost de cama profunda de cerdos en el cultivo de lechuga. XXVI Jornadas de Jóvenes Investigadores organizadas por la Asociación Grupo Montevideo (AUGM) a realizarse en la Ciudad de Mendoza, los días 17, 18 y 19 de octubre de 2018. Presentación oral.
- **Ortiz Mackinson, M.;** Grasso, R.; Rotondo, R.; Balaban, D.; Vita Larrieu, E.; Valenzuela, O.; Bonel, B. Efecto de la aplicación de compost de cama profunda porcina en lechuga. IV Congreso Argentino de Horticultura, ASAHO. 2 al 5 de octubre de 2018.
- **Ortiz Mackinson, M.;** Montian, G.; Grasso, R.; Rotondo, R.; Valenzuela, O.; Bonel, B. Percepción de consumidores de lechuga producida con aplicación de compost de cama profunda porcina. IV Congreso Argentino de Horticultura, ASAHO. 2 al 5 de octubre de 2018.
- **Ortiz Mackinson, M.;** Montian, G.; Grasso, R.; Rotondo, R.; Bonel, B. Análisis sensorial de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada con incorporación al suelo de compost de cama profunda porcina. Horticultura Argentina 39 (99): May. – Ago. 2020. ISSN de la edición on line 1851-9342. <http://www.horticulturaar.com.ar/>

- **Ortiz Mackinson, M.**; Bonel, B.A.; Valenzuela, O. La incorporación de compost de cama profunda porcina mejora los suelos hortícolas. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes, 13 a 16 de octubre de 2020.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	VI
RESUMEN	IX
ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. La intensificación de la producción porcina en Argentina y sus consecuencias ambientales	1
1.2. Valorización del uso de cama profunda porcina a través del compostaje y posibilidades de uso en los cultivos hortícolas	3
1.3. Importancia y producción del cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	5
1.4. Calidad y análisis sensorial en lechuga	6
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	8
2.1. Objetivo general	8
2.2. Objetivos específicos	8
2.3. Hipótesis	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. Descripción del sitio experimental, características edáficas y registro de datos meteorológicos	10
3.2. Origen y características del compost de cama profunda porcina utilizado	13
3.3. Diseño y manejo del experimento	18
3.4. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina en parámetros productivos y de calidad en lechuga	24
3.4.1. Rendimiento expresado en peso fresco (RPF)	24
3.4.2. Número de hojas por planta (NH)	24
3.4.3. Área foliar (AF)	24
3.4.4. Índice de color (IC*)	25

3.4.5. Materia seca aérea y radical (MS)	26
3.4.6. Rendimiento expresado en peso seco (RPS)	26
3.5. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina en parámetros de calidad organolépticos	27
3.5.1. Aceptabilidad	27
3.5.2. Preferencia	27
3.6. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre las propiedades químicas y físico-químicas del suelo	30
Carbono orgánico (CO) y materia orgánica (MO)	30
Nitrógeno (N)	30
Relación carbono-nitrógeno (C/N)	30
Fósforo (P)	30
pH	30
3.7. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre propiedades físicas del suelo	31
3.7.1. Estabilidad estructural (EE)	31
3.7.2. Densidad aparente (DA) y porosidad total (PT)	31
3.7.3. Resistencia mecánica a la penetración (RP)	33
3.7.4. Infiltración (I)	33
3.8. Análisis estadísticos	34
4. RESULTADOS	36
4.1. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina en parámetros productivos y de calidad en lechuga	36
4.1.1. Rendimiento expresado en peso fresco	36
4.1.2. Número de hojas por planta	38
4.1.3. Área foliar	38
4.1.4. Índice de color	39
4.1.5. Materia seca de la parte aérea y radical	40
4.1.6. Rendimiento expresado en peso seco	41
4.2. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda	

porcina en parámetros de calidad organolépticos	42
4.2.1. Aceptabilidad	42
4.2.2. Preferencia	48
4.3. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre las propiedades químicas y físico-químicas del suelo	48
4.4. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre propiedades físicas del suelo	56
5. DISCUSIÓN	64
5.1. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina en parámetros productivos y de calidad en lechuga	64
5.2. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina en parámetros de calidad organolépticos	74
5.3. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre las propiedades químicas y físico-químicas	76
5.4. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre las propiedades físicas del suelo	84
6. CONCLUSIONES	90
7. POSIBLES LÍNEAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES	92
8. BIBLIOGRAFÍA	94
9. ANEXOS	113
9.1. Anexo I. Temperaturas medias (TM), humedad relativa (HR) y precipitaciones ocurridas (Pp) desde mayo de 2017 a mayo de 2018	113
9.2. Anexo II. Test de Roessler	116
9.3. Anexo III. Valores de elementos traza acumulados con aplicaciones anuales de compost de cama profunda porcina y carga máxima admitida en 10 años según Resolución SENASA 1-2019	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los túneles de cama profunda y de la playa de compostaje del sistema de producción porcina, y del sitio experimental donde se aplicó el compost de cama profunda porcina en el cultivo de lechuga

Figura 2. Valores promedio de temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa media del aire (%), para cada mes, precipitaciones mensuales acumuladas (mm) ocurridos durante mayo de 2017 a mayo de 2018 (A) y promedio histórico de radiación global ($\text{Mj}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}$) en la Estación Agrometeorológica de Zavalla, Santa Fe (B)

Figura 3. Sistema de cama profunda o túneles de viento

Figura 4. Material fresco apilado para ser compostado (A) y material en proceso de compostaje (B)

Figura 5. Esquema del diseño experimental

Figura 6. Conformación de las platabandas en forma mecánica (A) y perfeccionamiento en forma manual (B). Pesaje de las dosis de compost de cama profunda (C) e incorporación con motocultivador (D)

Figura 7. Plantación de lechuga sobre platabandas (A) y sistema de riego localizado (B)

Figura 8. Plantas de lechuga con calidad comercial del T1 (A) y T3 (B)

Figura 9. Hoja de lechuga en el escaner Epson Stylus CX1500 (A). Imagen digital de una hoja de lechuga analizada con Programa Tomato Analyzer 3.0 (B)

Figura 10. Parte aérea y radical de una planta de lechuga (A) y medición de peso seco (B)

Figura 11. Plantas de lechugas cosechadas previo al lavado, donde el número 321 corresponde a T3: $12\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de compost y el número 408 corresponde a T0: $0\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de compost (A).

Procesamiento (B) y presentación de las muestras de lechuga (C). Degustación y respuesta del cuestionario hedónico por parte de los consumidores (D)

Figura 12. Tamizado de las muestras de suelo por malla de dos milímetros (A) y humectación de las mismas previa a la agitación mediante el aparato de Feodoroff

Figura 13. Introducción del muestreador de densidad aparente en la platabanda (A), enrase de la muestra extraída (B), identificación y protección con papel de aluminio (C) y determinación del peso seco luego del secado en estufa, para los tratamientos evaluados

Figura 14. Colocación de la lámina de 25 mm de agua en el anillo de PVC (A) y medida del tiempo de infiltración (B)

Figura 15. Rendimiento expresado en peso fresco para los tratamientos evaluados en los tres ciclos de cultivo de lechuga

Figura 16. Regresión lineal entre rendimiento expresado en peso fresco y las dosis de compost de cama profunda porcina aplicadas para los distintos tratamientos. Ciclo 1

Figura 17. Regresión lineal entre rendimiento expresado en peso fresco y las dosis de compost de cama profunda porcina aplicadas para los distintos tratamientos. Ciclo 2

Figura 18. Índice de color (IC*) observado para los tratamientos evaluados en los tres ciclos

Figura 19. Rendimiento expresado en peso seco observado para los tratamientos evaluados en los tres ciclos de cultivo

Figura 20. Resultados del cuestionario hedónico para el atributo aspecto global de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

Figura 21. Resultados del cuestionario hedónico para el atributo textura de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

Figura 22. Resultados del cuestionario hedónico para el atributo sabor amargo de las muestras provenientes de los tratamientos y T3

Figura 23. Resultados del cuestionario hedónico para el atributo aroma de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

Figura 24. Cantidad de comentarios en la prueba de degustación para el atributo aspecto global de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

Figura 25. Cantidad de comentarios en la prueba de degustación para el atributo textura de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

Figura 26. Cantidad de comentarios en la prueba de degustación para el atributo sabor amargo de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

Figura 27. Cantidad de comentarios en la prueba de degustación para el atributo aroma de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

Figura 28. Preferencia de los panelistas de las muestras T0 y T3

Figura 29. Relación entre la variable carbono orgánico (CO) y el tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Figura 30. Relación entre la variable relación carbono-nitrógeno (C/N) y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Figura 31. Relación entre la variable pH y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Figura 32. Relación entre la variable nitrógeno y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Figura 33. Regresión lineal entre la variable nitrógeno (N) y las dosis de compost de cama profunda porcina aplicadas

Figura 34. Relación entre la variable fósforo y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Figura 35. Relación entre la variable estabilidad estructural (EE) y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Figura 36. Relación entre la variable densidad aparente (DA) y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Figura 37. Relación entre la variable porosidad total (PT) y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Figura 38. Relación entre el carbono total (CO) aportado por el compost de cama profunda porcina en cada dosis y la disminución en la densidad aparente (DA) del suelo, para el espesor 0-20 cm

Figura 39. Relación entre la variable resistencia a la penetración (RP) correspondiente al espesor 0-10 cm y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Figura 40. Relación entre la variable resistencia a la penetración (RP) correspondiente al espesor 10-20 cm y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Descripción del perfil edáfico superficial del Argiudol vértico correspondiente a la Unidad Cartográfica 1 del Mapa de suelos del Campo Experimental Villarino
- Tabla 2. Caracterización de las propiedades químicas del suelo del sitio experimental correspondiente a los espesores 0-20 cm y 20-40 cm
- Tabla 3. Análisis de fitotoxicidad del compost de cama profunda porcina
- Tabla 4. Parámetros químicos, físico-químicos y biológicos del compost de cama profunda porcina
- Tabla 5. Aportes de carbono orgánico, materia orgánica, fósforo y nitrógeno aportados por las dosis propuestas en los tratamientos descritos en el punto 3.3. Diseño y manejo del experimento
- Tabla 6. Elementos traza potencialmente riesgosos presentes en el compost de cama profunda porcina utilizado
- Tabla 7. Valores de elementos traza para los tratamientos con diferentes dosis de compost de cama profunda porcina. Valor límite anual de elementos traza recomendado por la Resolución Conjunta 1-2019, SENASA
- Tabla 8. Fechas de siembra, trasplante y cosecha de los tres ciclos de cultivo
- Tabla 9. Parámetros físico-químicos del agua de riego
- Tabla 10. Parámetros bacteriológicos del agua de riego
- Tabla 11. Cuestionario hedónico de cinco puntos: “Me disgusta mucho”, “Me disgusta”, “Me es indiferente”, “Me gusta” y “Me gusta mucho” para los parámetros: aspecto global, aroma, sabor amargo y textura. Comentarios libres y preferencia de los panelistas
- Tabla 12. Número de hojas por planta observado durante los tres ciclos de cultivo para cada tratamiento
- Tabla 13. Área foliar (cm²) observada durante los tres ciclos de cultivo para cada tratamiento
- Tabla 14. Materia seca aérea (%) observada durante los tres ciclos de cultivo para cada tratamiento
- Tabla 15. Materia seca radical (%) observada durante los tres ciclos de cultivo para cada tratamiento
- Tabla 16. Aceptabilidad de los atributos aspecto global, textura, sabor amargo y aroma para las muestras T0 y T3

Tabla 17. Valores de probabilidad obtenidos de las pruebas de hipótesis para las variables carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), relación carbono-nitrógeno (C/N), pH y fósforo (P). Efectos tratamientos, tiempo e interacción (tratamiento*tiempo)

Tabla 18. Medias obtenidas para las variables carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), relación carbono-nitrógeno (C/N) y pH para cada ciclo, promedio de los tratamientos

Tabla 19. Medias obtenidas para las variables carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), relación carbono-nitrógeno (C/N) y pH de los tres ciclos para cada tratamiento

Tabla 20. Comparaciones de contenidos medios de nitrógeno (N) para combinaciones de interés entre tratamientos y tiempos. Valores de probabilidad (p) obtenidos de las pruebas de hipótesis de los contrastes efectuados

Tabla 21. Valores de nitratos para cada tratamiento en el ciclo 1

Tabla 22. Comparaciones de contenidos medios de fósforo (P) para combinaciones de interés entre tratamientos y tiempos. Valores de probabilidad (p) obtenidos de las pruebas de hipótesis de los contrastes efectuados

Tabla 23. Valores de conductividad eléctrica (CE) para los tratamientos en el ciclo 2

Tabla 24. Valores de probabilidad obtenidos de las pruebas de hipótesis para las variables estabilidad estructural (EE) determinada en el espesor 0-20 cm, densidad aparente (DA) y porosidad total (PT) determinadas en el espesor 5-10 cm y resistencia mecánica a la penetración (RP), espesores 0-10 cm y 10-20 cm. Efectos tratamientos, tiempo e interacción (tratamiento*tiempo)

Tabla 25. Medias obtenidas para las variables estabilidad estructural (EE) determinada en el espesor 0-20 cm, densidad aparente (DA) y porosidad total (PT) determinadas en el espesor 5-10 cm, y resistencia mecánica a la penetración (RP), espesores 0-10 cm y 10-20 cm, de los tres ciclos para cada tratamiento

Tabla 26. Medias obtenidas para las variables estabilidad estructural (EE) determinada en el espesor 0-20 cm, densidad aparente (DA) y porosidad total (PT) determinadas en el espesor 5-10 cm, y resistencia mecánica a la penetración (RP), espesores 0-10 cm y 10-20 cm para cada ciclo, promedio de los tratamientos

Tabla 27. Medidas resumen obtenidas para la variable infiltración (I) para cada ciclo

Tabla 28. Medidas resumen obtenidas para la variable infiltración (I) en el ciclo 3

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

AF	Área foliar
CCP	Compost de cama profunda porcina
CE	Conductividad eléctrica
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro cuadrado
cm ³	Centímetro cúbico
C/N	Relación carbono-nitrógeno
CIELab	Modelo cromático de la Commission Internationale d'Eclairage
CO	Carbono orgánico
CV	Coefficiente de variación
C1	Ciclo 1
C2	Ciclo 2
C3	Ciclo 3
DA	Densidad aparente
DE	Desvío estandar
Dr	Densidad real
EE	Estabilidad estructural
FCA	Facultad de Ciencias Agrarias
g	Gramo
g.cm ⁻³	Gramo por centímetro cúbico
g.l ⁻¹	Gramo por litro
g.m ⁻²	Gramo por metro cuadrado
HR	Humedad relativa
hs	Horas
HVH	Huevos viables de helmintos
I	Tasa de infiltración
IC*	Índice de color
kg	Kilogramo
kg.m ⁻²	Kilogramos por metro cuadrado

l.h ⁻¹	Litro por hora
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
meq/100 g ⁻¹	Miliequivalentes cada cien gramos
Mj.m ⁻² .día	Megajoules por metro cuadrado por día
mg.kg ⁻¹	Miligramos por kilogramo
mg.kg MS	Miligramos por kilogramo de materia seca
mg.l ⁻¹	Miligramos por litro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
mm.h ⁻¹	Milímetros por hora
mm.s ⁻¹	Milímetros por segundo
MO	Materia orgánica
MPa	Mega pascal
MS	Materia seca
mS.cm ⁻¹	MiliSiemens por centímetro
N	Nitrógeno
N°	Número
Na	Sodio
NH	Número de hojas por planta
P	Fósforo
pH	Potencial hidrógeno
ppm	Partes por millón
(p)	Valor de probabilidad estadística
PS	Peso seco
PT	Porosidad total
PVC	Policloruro de vinilo
RP	Resistencia a la penetración
RPF	Rendimiento en peso fresco
RPS	Rendimiento en peso seco
SENASA	Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria
T	Temperatura

TCC	Tasa de crecimiento del cultivo
TCR	Tasa de crecimiento relativa
t.ha ⁻¹	Toneladas por hectárea
T0	Tratamiento 0 kg.m ⁻²
T1	Tratamiento 6 kg.m ⁻²
T2	Tratamiento 9 kg.m ⁻²
T3	Tratamiento 12 kg.m ⁻²
UE	Unidad experimental
°C	Grados celsius
μ	Micrómetro
μg.l ⁻¹	Microgramo por litro
μS/cm ⁻¹	MiliSiemens por centímetro

RESUMEN

La producción porcina bajo el sistema de cama profunda genera elevados volúmenes de desechos, compuestos principalmente por heno y excretas. El manejo de estos residuos a través del compostaje permite su reciclado tras un tratamiento ambientalmente adecuado, posibilitando su incorporación al suelo. Una alternativa de uso posterior sería la aplicación del compost de cama profunda porcina (CCP) a suelos dedicados a la producción hortícola, los que generalmente presentan estados de degradación importantes como consecuencia del uso intensivo y de manejos inadecuados. El objetivo de esta tesis, fue realizar un estudio agronómico productivo sobre la utilización de CCP en un sistema de producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a campo, por medio del análisis de parámetros de cultivo y de propiedades de suelo, en el Cinturón Hortícola de Rosario. El estudio se llevó a cabo en la sección hortícola del Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNR, utilizando CCP producido en la misma Institución. Se evaluó la aplicación de cuatro dosis de compost: 0 kg.m⁻² (T0), 6 kg.m⁻² (T1), 9 kg.m⁻² (T2) y 12 kg.m⁻² (T3) en tres ciclos de cultivo: C1 (trasplante el 31/05/2017), C2 (trasplante el 23/10/2017) y C3 (trasplante el 19/03/2018). Las variables productivas y de calidad de cultivo analizadas fueron: rendimiento expresado en peso fresco (RPF) y seco (RPS), número de hojas por planta (NH), área foliar (AF), índice de color (IC*), materia seca (MS) aérea y radical, y calidad organoléptica (aceptabilidad y preferencia). Las variables edáficas fueron: carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), nitrógeno Kjeldahl (N), relación C/N, fósforo disponible (P), pH, estabilidad estructural (EE), densidad aparente (DA), porosidad total (PT), resistencia a la penetración (RP) y tasa de infiltración (I). Los datos correspondientes a variables productivas se analizaron mediante ANAVA y comparación de medias por Tukey o Kruskal Wallis. La evaluación organoléptica se realizó utilizando Kruskal Wallis, test de Roessler y normas AFNOR V09-500. Para las edáficas se realizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo, mediante modelos generales y mixtos. Se hallaron diferencias en las variables productivas y de calidad de lechuga a favor de los tratamientos con CCP, con diferencias entre tratamientos y ciclos. El RPF fue mayor en T3 respecto a T0, con aumentos de 29% y 37% para el C1 y el C2 respectivamente. El NH fue mayor en T2 y T3 con respecto a T0 durante el C2. Se observó mayor AF en T3 para el C1 y en T2 para el C2. El T3 presentó color verde más oscuro diferenciándose de T0 y T1 en el C1 y de T0 en el C2. Hubo diferencias en MS aérea y radical en el C2, donde el mayor valor lo

obtuvo T0 y el menor correspondió a T3. En el C1 se observó un aumento del 18% en RPS en T3 con respecto a T0, mientras que en el C2, el aumento fue de 28% para T2 comparado con T0. El análisis organoléptico indicó que las muestras de lechuga provenientes del tratamiento con agregado de CCP fueron preferidas por los consumidores en un 64% con respecto a T0. Se encontraron diferencias en el contenido de CO y MO de suelo, promedio de los tres ciclos, hallando mayores contenidos en T3 respecto a T0 y T1. La relación C/N evidenció una tendencia decreciente a través de los ciclos, mientras que para pH la tendencia fue creciente no observándose diferencias entre tratamientos en ambas variables. Se halló interacción entre los factores tratamiento y tiempo para N y P. Los contrastes realizados indican mayores contenidos de N en T3 respecto a T0 en los tres ciclos, y de T1 y T2 respecto al testigo en C1; mayores contenidos de P en T1, T2 y T3 respecto a T0 en todas las fechas, a la vez fueron mayores en T3 respecto a T1 y T2 en los tres ciclos. La EE fue menor en el testigo respecto a los tratamientos con CCP, observándose una tendencia creciente en estabilidad con el aumento de dosis de CCP y una disminución en el tiempo. La DA fue mayor en T0 respecto a los tratamientos con CCP, observándose un aumento con el tiempo. La PT presentó una tendencia inversa a la DA. La RP de 0 a 10 cm en el C1 fue mayor en T0 respecto a los tratamientos con CCP, observándose un aumento en el tiempo en los espesores 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, con valores absolutos por debajo de los críticos en todos los casos. Los valores de I en todos los tratamientos y ciclos no fueron limitantes para el cultivo. En las condiciones en que se realizó la tesis, la aplicación de CCP al suelo permite aumentar el RPF, AF y RPS del cultivo de lechuga, disminuyendo el IC* y el porcentaje de MS en los dos primeros ciclos. De acuerdo al análisis sensorial el producto obtenido en suelos que recibieron CCP, presenta alta probabilidad de ser elegido por el consumidor. Respecto a la condición edáfica, el uso de CCP tuvo efecto sobre el aumento del contenido de CO, MO, P y N, no presentando mayor influencia en la relación C/N y el pH. Por otra parte se observó un incremento de la PT y la EE, y una disminución de la DA y la RP en el estrato de 0-10 cm. La utilización del CCP en sistemas hortícolas es una alternativa viable, que permite aprovechar y optimizar los residuos generados por el sistema de producción porcina de cama profunda, disminuyendo riesgos ambientales.

Palabras claves: residuos porcinos, horticultura, productividad y calidad, análisis sensorial, suelos degradados

APPLICATION OF SWINE DEEP-LITTER COMPOST IN A PRODUCTIVE SYSTEM OF LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) IN OPEN FIELD

Swine production under deep-litter system generates high volumes of waste. Management of these wastes through composting allows their recycling after an environmentally appropriate treatment. The swine deep-litter compost (DLC) obtained can be applied to soils used for horticultural production, which generally present significant degradation states. The objective of this thesis was to carry out and in the field productive agronomic study on the use of DLC in a lettuce (*Lactuca sativa* L.) production system, through the analysis of cultivation parameters and soli properties, in the Horticultural Belt of Rosario. In general, application of DLC to the soil allows to improve most of the productive and quality variables of lettuce, as well as soil chemical and physical properties. A tasting test showed consumer preference for lettuce treated with the highest rate of DLC application. The use of this compost in horticultural systems is a viable alternative, which makes it possible to take advantage of the waste generated by deep-litter swine production systems and optimize its management, thus reducing environmental risks.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La intensificación de la producción porcina en Argentina y sus consecuencias ambientales

La producción porcina en Argentina se encuentra en un constante crecimiento, lo que queda demostrado por el aumento de la faena en cabezas que pasó de 4.745.471 en 2009 a 6.778.976 en 2018, significando un aumento del 43%. Entre el año 2017 y el 2018 el aumento interanual fue de 5,5%. La producción durante el año 2018 de res con hueso, fue de 620.549 toneladas y el consumo de carne en el mismo año fue de 15,2 kilogramos por habitante por año, aumentando un 8,2% respecto a 2017 (Ministerio de Agroindustria, 2018). De acuerdo a la caracterización nacional del sector porcino durante el año 2017, la producción de cerdos se distribuye principalmente entre las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, las cuales concentran el 76% de las unidades productivas y el 62% de las cabezas totales. Según la estratificación de unidades productivas conforme al número de madres en producción, el 94% de los establecimientos cuentan con hasta 50 cerdas y solo el 1,8% poseen más de 100 madres. Esto indica la alta predominancia de pequeñas y medianas granjas porcinas a nivel nacional (Ministerio de Agroindustria, 2017).

Rearte (2010) señala que las producciones de pequeña escala comenzaron a incorporar mayor tecnología incrementando el número de madres y alentando el paso de sistemas a campo (aire libre), a sistemas mixtos (establecimientos que presentan algunas categorías a campo y otras intensificadas), promoviendo una mayor eficacia productiva. Esto último, disminuye los costos de producción pero da lugar a la generación de gran cantidad de desechos orgánicos concentrados que implican un importante riesgo ambiental, pudiéndose generar graves eventos de contaminación (Choudhary et al., 1996; Kunz et al., 2009), tales como lixiviado de nutrientes, contaminación de aguas y emisión de gases tóxicos (Iocoli et al., 2015). Por este motivo, el cambio tecnológico debe considerar el manejo y reutilización de efluentes generados, los cuales, sin un tratamiento adecuado, pueden resultar en una potencial fuente de polución, con el consecuente deterioro del medio ambiente. Específicamente, en Argentina, los pequeños y medianos productores, han incorporado un sistema de crianza de cerdos alternativo a los confinados y de campo denominado “sistema de cama profunda o túneles de viento” (CCP), (Skejich et al., 2015). Entre las ventajas de este sistema se mencionan mayor eficiencia de conversión de alimento en kilos de carne, mejores porcentajes de preñez en

verano, reducción de la superficie ganadera en comparación con el sistema a campo y bajo costo de inversión inicial.

En este tipo de sistemas, el suelo de las instalaciones no es de concreto, sino que se recubre con una capa de entre 50 y 60 cm de profundidad que puede estar constituida por heno, cascarilla de arroz, hojas de maíz, bagazo de caña de azúcar, paja de trigo o de soja o una mezcla de estos materiales, de acuerdo a las posibilidades de las diferentes regiones. Las instalaciones pueden ser nuevas o aprovechar instalaciones en desuso (Cruz Martínez et al., 2010). Estos sistemas generan un menor impacto ambiental, siendo más respetuoso del bienestar animal en comparación al sistema de producción confinado tradicional (Skejich et al., 2015; Zimmerman et al., 2016). La disminución de los problemas ambientales está dada por el manejo de las excretas en forma sólida y no líquida, con la consecuente reducción de olores y reducción en más de 50% de la emisión de amoníaco en comparación con los sistemas de piso de concreto. Al mismo tiempo, reduce la posibilidad al mínimo de la contaminación de las aguas, el cúmulo de desechos en lagunas y reduce la incidencia de moscas (Araque et al., 2006; Cruz Martínez et al., 2010), a la vez que produce ahorro de agua y genera una fuente de materia orgánica (MO) con potencialidad de ser utilizada en la producción agrícola. Para la adopción de esta tecnología es importante que los productores porcinos conozcan las características propias de este sistema, desde el comportamiento productivo de los cerdos, hasta la necesidad de disponer material para la cama y el destino posterior de los importantes volúmenes de desechos que se generan.

En el contexto actual de toma de consciencia acerca de la degradación de los recursos ambientales y crisis energética, emerge la necesidad de repensar las relaciones entre las actividades productivas y el medio ambiente. Es así como el tratamiento de los desechos porcinos reviste cada día mayor importancia debido a la dimensión del problema que representa, no sólo por el aumento de los volúmenes producidos, sino también por la degradación de los recursos agua, suelo y aire, la proliferación de plagas sinantrópicas (moscas, roedores, entre otras) y la generación de olores indeseables producidos cuando no poseen una correcta disposición. Es por este motivo que el manejo de las excretas es un aspecto fundamental en la sustentabilidad ambiental de los sistemas de producción animal intensivos (Araque et al., 2006). En este sentido el compostaje, se presenta como una alternativa que permite el reciclado de residuos agropecuarios para que puedan ser incorporados en el suelo, tras un tratamiento ambientalmente adecuado.

1.2. Valorización del uso de cama profunda porcina a través del compostaje y posibilidades de uso en los cultivos hortícolas

La producción de cerdos bajo el sistema de cama profunda, genera un residuo compuesto por el material utilizado para dicha cama y excretas sólidas y líquidas de los animales. Este producto sufre una descomposición *in situ* (Campiño y Ocampo, 2007), que posteriormente, requiere del proceso de compostaje fuera de las instalaciones para lograr su maduración. El compostaje es un proceso biooxidativo que proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola (Hernández et al., 2010; Campitelli, 2010; Mazzarino et al., 2012; Román et al., 2013). Durante este proceso se distinguen cuatro fases o etapas según la temperatura generada: una fase mesófila en la cual el material alcanza en pocos días 45°C debido a la actividad de los microorganismos; una termófila o de higienización, donde las temperaturas pueden llegar hasta los 70°C y el calor generado destruye bacterias riesgosas como *Escherichia coli* y *Salmonella* sp., quistes y huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas dando lugar a un producto higienizado (Larney y Hao, 2007; Lavado, 2012); una segunda fase mesófila o de enfriamiento donde la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C y finalmente una fase de maduración en la cual finaliza el proceso de compostaje obteniendo un producto de calidad, estable e inocuo listo para ser utilizado (Rodríguez Torres et al., 2010; Mazzarino et al., 2012; Román et al., 2013).

El compost proveniente del sistema de cama profunda porcina, puede ser una fuente potencial de nutrientes para utilizarse en la agricultura, siendo necesario evaluar su estado de madurez en relación a la ausencia de patógenos, de sustancias tóxicas y semillas viables de malezas (Pegoraro et al., 2015). La utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso, puede acarrear riesgos de fitotoxicidad, inmovilización de nitrógeno (N), deficiencias de oxígeno a nivel de raíces, exceso de amonio y nitratos para las plantas y contaminación de fuentes de agua (Román et al., 2013). La higiene e inocuidad del compost es un aspecto esencial que determina el uso posterior. Este aspecto es particularmente especial para el cultivo de hortalizas de tallo corto o de hoja, así como para la producción de frutas (Ferrato et al., 2010; Román et al., 2013). Al respecto, Magrì (2020) demostró que los sistemas de compostaje de camas profundas porcinas, permiten obtener un material maduro, estable e higienizado. Este compost pudo utilizarse con éxito como sustituto parcial de la turba en la

formulación de sustratos. Este material podría ser también utilizado como enmienda orgánica, siendo una práctica alternativa en la horticultura tradicional, mejorando las condiciones físicas y químicas del suelo.

La producción hortícola, principalmente en zonas periurbanas, ha traído como consecuencia un marcado deterioro de sus suelos, manifestándose en un desequilibrio químico y biológico, menor contenido de materia orgánica y una disminución en su capacidad y calidad productiva (Clozza et al., 2014). La sucesión ininterrumpida de cultivos, el riego con agua que posee limitantes químicas, las labores culturales no apropiadas y un manejo incorrecto de la fertilización provocan degradación del suelo (Bongiovanni Ferreyra et al., 2015). Las manifestaciones más evidentes del deterioro son pérdida de estructura, compactación, disminución del contenido de materia orgánica, salinización, disminución de la estabilidad de agregados y disminución de la fertilidad edáfica. La pérdida de calidad afecta notoriamente la productividad de los cultivos (Álvarez et al., 2008; Rotondo et al., 2009; Bongiovanni Ferreyra et al., 2015). El Cinturón Hortícola de Rosario, no es ajeno a esta problemática presentando una degradación generalizada del recurso suelo como consecuencia del uso intensivo y del manejo inadecuado (Rotondo et al., 2009).

La incorporación de compost en las producciones intensivas, es una de las medidas preventivas que permite mantener o mejorar la calidad del suelo y por lo tanto la sostenibilidad de la producción. La aplicación de abonos orgánicos en suelos degradados por su uso inadecuado permite regenerar a mediano y largo plazo sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Balcaza, 2010; Clozza et al., 2014), como así también aumentar el rendimiento y la calidad del producto obtenido (Courtney y Mullen, 2008; Comese et al., 2009; Romaniuk et al., 2010). Entre las acciones positivas sobre propiedades edáficas se puede citar al favorecimiento de la agregación y estructuración, disminución de la densidad aparente (DA), de la compactación, de la erosión eólica e hídrica, de las fluctuaciones de temperatura, aumento de la porosidad total (PT), de la estabilidad estructural (EE), capacidad de almacenaje de agua, infiltración (I) y aporte de macro y micronutrientes al sistema suelo-planta. La incorporación de materia orgánica actúa como fuente de energía y nutrición promoviendo la actividad microbiana del suelo, reportado efectos positivos sobre la condición biológica del mismo ya que el compost estimula y diversifica la biota edáfica creando así un medio adecuado para el crecimiento de las plantas (Parr y Hornick, 1993; Albiach et al., 2000; Tejada y González, 2003; Ferreras et al., 2006; Gómez et al., 2006; Armstrong et al., 2007;

Doñate, 2010; Romaniuk et al., 2010; Pellejero, 2013; Clozza et al., 2014; Bongiovanni Ferreyra et al., 2015).

En sistemas hortícolas, Rotondo et al. (2009) hallaron que el uso de enmiendas orgánicas tuvo efectos significativos sobre medidas productivas y sobre variables edáficas, mejorando el contenido de carbono orgánico (CO), la estabilidad estructural y la conductividad eléctrica (CE). Lopez Mosquera et al. (2003) encontraron respuestas similares sobre un cultivo de lechuga aplicando lombricompost y cama de pollo. Con residuos pecuarios de cerdo, Iocoli y Gómez (2015) hallaron mayor rendimiento de lechuga, medido en peso fresco, en tratamientos con purín y digerido anaeróbico respecto al control sin aplicación de enmienda.

La respuesta a la incorporación de enmiendas orgánicas es variable y depende del cultivo, tipo de suelo, factores climáticos, prácticas de manejo y de las características del material utilizado (Parr y Hornick, 1993; Albiach et al., 2001). Cabe aclarar que la liberación de nutrientes al suelo y las acciones positivas mencionadas anteriormente no son inmediatas ya que exigen el proceso de mineralización de la materia orgánica (Ferratto et al., 2010; Bongiovanni Ferreyra et al., 2015). Por lo mencionado anteriormente, la incorporación de compost de cama profunda porcina podría mejorar y recuperar la calidad de los suelos destinados a la producción hortícola.

1.3. Importancia y producción del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

La producción hortícola en Argentina representa el 11% del producto bruto agrícola cultivándose 600.000 hectáreas anualmente (Valenzuela, 2019). Entre las hortalizas de hoja (lechuga, acelga, espinaca y apio) la lechuga (*Lactuca sativa* L.) es la de mayor importancia en cuanto a la superficie cultivada, representando el 55% de las hectáreas producidas en los cinturones verdes de los principales centros urbanos del país (De Grazia et al., 2001; Ferratto et al., 2010). El consumo es de 3 kilogramos por habitante por año, ocupando el tercer lugar luego de papa y tomate. A nivel mundial, la lechuga es una de las hortalizas frescas más consumidas, aumentando su producción un 4% entre los años 2000 y 2005.

En la provincia de Santa Fe, de acuerdo al censo 2012 correspondiente al Cinturón Hortícola de Rosario, la superficie anual cultivada de hortalizas fue de 3.407 hectáreas, de las cuales 382 hectáreas correspondieron al cultivo de lechuga, ocupando el segundo lugar luego de papa y el primero en cuanto al número de productores que la cultivan (Grasso et al., 2013).

La lechuga es una hortaliza fresca, de bajas calorías, alto contenido de vitaminas y de fácil preparación. Desde el punto de vista botánico, es una planta herbácea, anual, de hojas enteras en roseta, que pertenece a la familia de las Asteráceas. La raíz principal es pivotante con numerosas raíces laterales que se desarrollan en forma superficial en los primeros 20 a 30 centímetros (cm) del suelo. De acuerdo a la variedad, el color de las hojas va del verde amarillento al verde oscuro o rojizo, y su consistencia desde rústicas y gruesas hasta tiernas y finas. La especie prefiere climas templados frescos con promedios mensuales de temperatura entre 15 y 20 °C. La humedad relativa ambiente adecuada para su desarrollo se encuentra en un rango entre 60% a 80%, donde valores superiores favorecen la presencia de enfermedades. Aunque vegetan bien en suelos diversos, los mejores son los de textura franco-arcillosa que no retengan humedad excesivamente y que posean abundante cantidad de materia orgánica. Es una especie altamente sensible al encharcamiento. Resiste valores medios de salinidad en el suelo, donde generalmente se considera que no se ve afectado el rendimiento hasta valores de 1,3 mS.cm⁻¹. El pH óptimo oscila entre 6,5 a 7,4, no obstante puede desarrollarse con un manejo agronómico adecuado con valores entre 5 a 8,5 (Maroto, 2000). Las necesidades nutritivas dependen de las variedades, momentos de cosecha y rendimientos (Ferratto et al., 2010).

“Por el alto consumo, la lechuga exige hallar mecanismos más efectivos de producción de modo de aumentar el rendimiento y uno de los mecanismos para llegar a este objetivo es mejorar las condiciones físicas, químicas y nutritivas del suelo ya que es de donde extrae la mayoría de los nutrientes que necesita para su crecimiento” (López, 2013). En este sentido, el agregado de enmiendas orgánicas en el suelo puede tener impacto positivo sobre las condiciones edáficas y productivas en estos sistemas de producción. Siendo que la lechuga es poco tolerante a las materias orgánicas frescas sin fermentar, el compost de cama profunda porcina puede ser una alternativa para lograr este objetivo y mejorar las condiciones mencionadas anteriormente, adecuando las dosis a las características del suelo, clima, sistema de producción y características del abono (Maroto, 2000).

1.4. Calidad y análisis sensorial en lechuga

En la producción de alimentos, la calidad el producto obtenido es el resultado de la planificación de los lotes, de los métodos de producción, de los materiales genéticos, de las condiciones ambientales y de los insumos utilizados, entre otros aspectos del proceso de

producción. Por lo tanto, la calidad comienza a determinarse mucho antes de la cosecha (Chiesa, 2010; Ferratto et al., 2010). Por otra parte el consumidor actual de alimentos es cada vez más exigente en la búsqueda de excelencia y calidad.

En las hortalizas, la calidad intrínseca puede ser estudiada en función a diferentes aspectos como ser los nutricionales, higiénicos sanitarios, tecnológicos y organolépticos (Gaviola, 1996). La evaluación de aspectos organolépticos de los alimentos comprende el análisis sensorial, lo que permite la caracterización de los productos en forma descriptiva, la discriminación de los mismos y el grado de satisfacción de los consumidores estableciendo criterios de calidad de un producto.

Según Picallo y Grigioni (1999), “el análisis sensorial es una ciencia relativamente nueva la cual permite obtener datos objetivos a través de normas establecidas para tal fin y cuantificables de las características de un producto, evaluadas a través de los sentidos”. Esta disciplina científica es utilizada para medir, analizar e interpretar las reacciones de los consumidores en base a las características de un alimento. Estas reacciones determinarán la aceptación o rechazo del mismo a partir de la percepción sensorial del consumidor. Al ingerir un alimento, se activan estímulos visuales como tamaño, color, forma, brillo, defectos, siendo uno de los aspectos más importantes dando la primera impresión de un producto frutihortícola. También estímulos táctiles, donde la textura es percibida por los dedos, labios, lengua y dientes, manifestando características rugosas, tiernas, suaves, ásperas, etc., y estímulo auditivos que puede manifestar crujencia a través de los oídos. Los estímulos olfatorios y gustativos manifiestan aromas y dulzor, amargor, salinidad y acidez (Mondino et al., 2006; Dominguez, 2007).

Una de las pruebas utilizadas para análisis sensorial son las pruebas hedónicas que buscan determinar la aceptabilidad (pruebas de aceptabilidad) y preferencia (pruebas de preferencia) de un producto a través de consumidores no entrenados, y que no solo establecen si hay diferencias entre muestras sino también la magnitud de las mismas. La aceptabilidad se refiere al grado de satisfacción general de un consumidor acerca de un producto basada en una escala de medición. Por otro lado, la preferencia se refiere a la elección entre dos o más muestras en base al gusto o disgusto, permitiendo decidir cuál es la mejor opción en la producción de dos o más productos (Dominguez, 2007). Es importante que al introducir un alimento al mercado o cambiar las características del mismo se realicen pruebas sensoriales a las personas al cual va dirigido el mismo (Kleinhenz et al., 2003; Mondino et al., 2006; Domínguez, 2007; Chiesa,

2010). “Si bien la lechuga es un cultivo consumido durante todo el año y es muy conocido a nivel agronómico, no existen muchos estudios referentes a su perfil sensorial” (Hernández Palomo, 2018). La valorización de los residuos provenientes de las producciones porcinas y su uso en sistemas hortícolas, podría tener un impacto sobre la calidad del producto y sobre la aceptación y preferencia de los consumidores, además de los esperados efectos en rendimiento y calidad del suelo.

Si bien existe información sobre la incorporación de distintos residuos de origen agropecuario en los suelos hortícolas, la utilización sustentable de compost de cama profunda porcina en cultivos de lechuga ha sido poco abordada.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivo general

Realizar un estudio agronómico productivo sobre la utilización de compost de cama profunda porcina en un sistema de producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a campo, por medio del análisis de parámetros de cultivo y de propiedades de suelo, en el Cinturón Hortícola de Rosario.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la incorporación de diferentes dosis de compost de cama profunda porcina en parámetros productivos y de calidad en lechuga (*Lactuca sativa* L.) a través del rendimiento, número de hojas, área foliar, índice de color, materia seca aérea y radical en tres ciclos de cultivo.
- Evaluar la aceptabilidad y preferencia de los consumidores de lechugas cultivadas con y sin incorporación de compost de cama profunda porcina a través del análisis sensorial.
- Determinar cambios en las propiedades químicas y físico-químicas ligadas al ciclo de la materia orgánica, a la relación carbono-nitrógeno y a la nutrición del cultivo (nitrógeno, fósforo y pH), en suelos con diferentes dosis de compost de cama profunda porcina.
- Determinar cambios en las propiedades físicas ligadas al flujo de agua y aire (porosidad total, estabilidad estructural, infiltración) y al desarrollo radical (resistencia a la penetración y densidad aparente) en suelos con diferentes dosis de compost de cama profunda porcina.

2.3. Hipótesis

En base a los objetivos se plantearon las siguientes hipótesis:

- La incorporación de compost de cama profunda porcina en el sistema de producción de lechuga a campo mejora las condiciones de cultivo, por lo que se espera mayor respuesta en rendimiento, número de hojas, área foliar, índice de color y materia seca aérea y radical, frente a dosis mayores de compost.
- La incorporación de compost de cama profunda porcina en el sistema de producción de lechuga a campo no incide en forma negativa en la aceptabilidad y preferencia de los consumidores.
- La incorporación de compost de cama profunda porcina en el sistema de producción de lechuga a campo mejora las condiciones químicas y físico-químicas del suelo, por lo que se espera obtener contenidos mayores de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, así como valores de pH en un rango no limitante para el cultivo, frente al agregado de dosis crecientes de compost.
- La incorporación de compost de cama profunda porcina en el sistema de producción de lechuga a campo mejora las condiciones físicas del suelo, por lo que se espera obtener valores menores de densidad aparente y resistencia mecánica a la penetración, mayor estabilidad estructural, porosidad y tasa de infiltración frente al agregado de dosis crecientes de compost.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del sitio experimental, características edáficas y registro de datos meteorológicos

El experimento se llevó a cabo en la sección hortícola del Campo Experimental Villarino de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), Zavalla, Santa Fe, 33° 01´ S; 60° 53´ O. Dicho sector está dedicado a la producción hortícola a campo desde más de 30 años, con manejo tradicional de laboreo. En la Figura 1 se observa la ubicación del sitio experimental en la sección de horticultura, como así también, la ubicación de los túneles de cama profunda y playa de compostaje correspondientes al sector de producción porcina del Campo Experimental.



Figura 1. Ubicación de los túneles de cama profunda y de la playa de compostaje del sistema de producción porcina, y del sitio experimental donde se aplicó el compost de cama profunda porcina en el cultivo de lechuga. Fuente: Google Earth (<https://earth.google.com/>)

El suelo en el que se realizó el experimento es un Argiudol vértico serie Roldán, bien drenado, muy profundo y con elevado grado de evolución en su perfil (A₁, B₁, B_{2t}, B₃, C₁ y C_{2ca}). En la Tabla 1 se describen los primeros horizontes de la unidad edáfica correspondiente al sitio donde se llevó a cabo el experimento, Unidad Cartográfica N°1, Perfil 2, perteneciente al mapa de suelos del Campo Experimental Villarino (Busso y Ausilio, 1989). En la Tabla 2 se muestran valores específicos de algunas propiedades que caracterizan el suelo del sector

hortícola de la FCA realizados en el Laboratorio de la Estación Experimental Agropecuaria INTA San Pedro, en el año 2016.

Tabla 1. Descripción del perfil edáfico superficial del Argiudol vértico correspondiente a la Unidad Cartográfica 1 del Mapa de suelos del Campo Experimental Villarino

Determinación	Unidad	Horizonte		
		A ₁	B ₁	B _{2t}
Profundidad	(cm)	0-20	20-36	36-86
Materia orgánica	(%)	3,14	1,53	1,17
Carbono orgánico	(%)	1,82	0,89	0,68
Nitrógeno total	(%)	0,15	0,09	0,68
Relación C/N	-	11,89	10,00	11,15
Arcilla < 2 μ	(%)	21,92	32,37	52,90
Limo 2-20 μ	(%)	38,04	31,50	21,29
Limo 20-50 μ	(%)	34,56	31,56	20,75
Arena muy fina < 100 μ	(%)	5,14	4,41	4,96
Arena fina 100-250 μ	(%)	0,25	0,14	0,10
Arena media 250-500 μ	(%)	0,09	0,02	0,00
Carbonato de calcio	(%)	-	-	-
pH en agua, 1:2,5	-	6,40	6,24	6,87

Tabla 2. Caracterización de las propiedades químicas del suelo del sitio experimental correspondiente a los espesores 0-20 cm y 20-40 cm

Determinación	Unidad	Profundidad		Método
		0 – 20 cm	20 – 40 cm	
Carbono orgánico	(%)	1,37	0,94	(1)
Materia orgánica	(%)	2,37	1,61	(1)
Nitrógeno total	(%)	0,12	0,09	(2)
Fósforo	(ppm)	78	40	(3)
pH, 1:2,5	-	7,86	7,09	(4)
Conductividad eléctrica	(mS.cm ⁻¹)	0,19	0,14	(5)
Capacidad de intercambio catiónico	(meq/100 g ⁻¹)	23	20	(6)
Calcio	(meq/100 g ⁻¹)	10,8	11,0	(6)
Magnesio	(meq/100 g ⁻¹)	3,39	7,14	(6)
Potasio	(meq/100 g ⁻¹)	1,97	1,69	(6)
Sodio	(meq/100 g ⁻¹)	12,1	3,27	(6)
Relación C/N	-	11	10	
Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	(%)	52	16	

Referencias: (1) Walkley & Black. (2) Kjeldahl. (3) Bray I. (4) Electrométrico. (5) Conductímetro. (6) Saturación con acetato de amonio.

Los datos meteorológicos fueron obtenidos de los registros realizados por la Estación Climatológica Complementaria Agrometeorológica N° 9987012 categoría: Clp Ag, F.C.A. de Zavalla-UNR/Cátedra de Climatología Agrícola, abarcando el período total del experimento. En la Figura 2 A y en el Anexo I, se muestran los valores de las temperaturas medias mensuales (°C), de la humedad relativa media mensual (%) y de las precipitaciones mensuales acumuladas ocurridas durante mayo de 2017 a mayo de 2018. En la Figura 2 B se presentan valores de radiación global de acuerdo al promedio histórico de la Estación Agrometeorológica de Zavalla, Santa Fe.

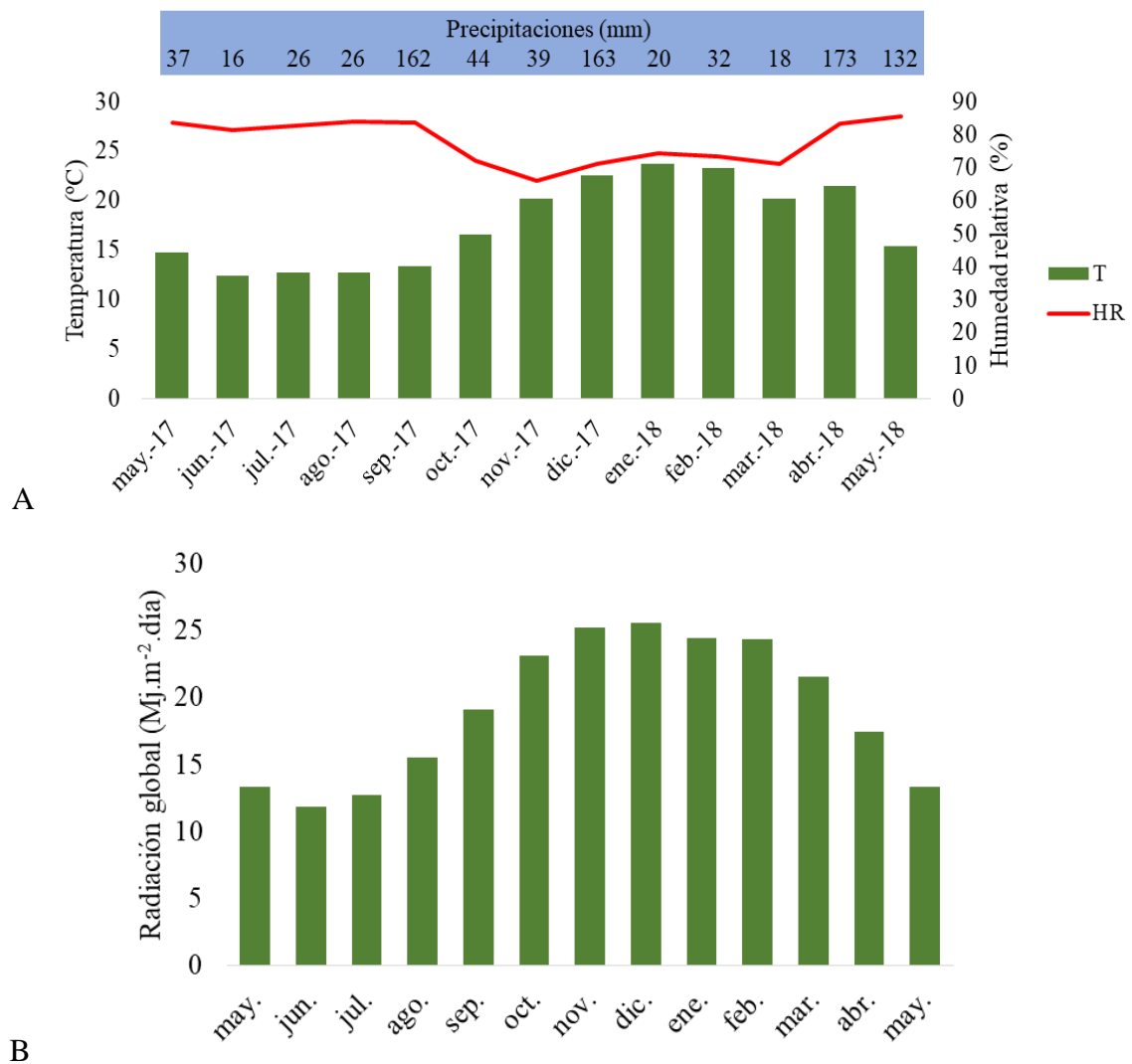


Figura 2. Valores promedio de temperatura media (°C) y humedad relativa media del aire (%), para cada mes, precipitaciones mensuales acumuladas (mm) ocurridos durante mayo de 2017 a mayo de 2018 (A) y promedio histórico de radiación global (Mj.m⁻².día) en la Estación Agrometeorológica de Zavalla, Santa Fe (B)

3.2. Origen y características del compost de cama profunda porcina utilizado

El material compostado se obtuvo del sistema de producción de cama profunda o túneles de viento de la FCA, UNR. En este sistema, los animales permanecen en estas instalaciones durante 100 días, ingresando con 30 kg hasta alcanzar el producto final que es el capón con un peso de venta de 110 kg. Las naves están construidas a partir de una estructura hecha con cabreadas y un techo de polietileno bicapa de 500 micras. El lado norte cuenta con un piso de

hormigón con un espesor de 15 cm, lugar donde está ubicado el comedero y los bebederos (Figura 3).

El residuo generado está compuesto por el material utilizado para la cama, en este caso heno de cebada, y el estiércol animal parcialmente descompuesto. En cada galpón se suministra aproximadamente 12.000 kg de alimento y entre 10.000 a 15.000 kg de paja.



Figura 3. Sistema de cama profunda o túneles de viento

El material se retira completamente al finalizar cada crianza y se arman pilas a campo de 1,5 metros de ancho por 1,5 metros de alto y generalmente 30 metros del largo (Figura 4 A). Para la obtención del compost se utilizó un sistema de aireación y volteo mecánico mediante el empleo de maquinaria específica que contaba con sistema de humectación incorporado. Se controló la humedad mediante la “técnica del puño” (Román et al., 2013) y la temperatura durante el proceso de compostaje para garantizar su higienización. El material utilizado para el experimento fue compostado (Figura 4 B) durante 5 meses a partir del mes de noviembre de 2016. Las temperaturas durante los primeros 20 días estuvieron en el rango de 50 – 70 °C.



Figura 4. Material fresco apilado para ser compostado (A) y material en proceso de compostaje (B)

Se realizó un test de fitotoxicidad (Servicio de Análisis de Compost de la FCA, UNR), utilizando semillas de trigo. Los resultados hallados respecto al control permiten inferir la ausencia de efectos fitotóxicos por parte del CCP (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de fitotoxicidad del compost de cama profunda porcina

Muestra	Trigo
Control	100%
Extracto compost:agua (20:100)	94%

Previo a la incorporación al suelo se extrajo una muestra representativa del compost y se la envió al Centro de Investigación Científica y Biológica (BIOGRUP) y al Laboratorio de Calidad de Compost de la FCA, UNR para caracterizar el producto y garantizar su inocuidad. En la Tabla 4 se muestran los parámetros químicos, físico-químicos y biológicos del compost de cama profunda porcina utilizado en la investigación. Ningún resultado superó el valor guía establecido por la legislación aplicable o de referencia al momento de realizar la tesis (SENASA, 2011), excepto la relación C/N.

Tabla 4. Parámetros químicos, físico-químicos y biológicos del compost de cama profunda porcina

Parámetro	Unidad	Valor Límite Argentina ⁽¹⁾	CCP	Método Analítico ⁽²⁾
Materia Orgánica	%	--	10,2	SM 5910 B
Carbono Orgánico	%	--	7,9	SM 5310 C
Fósforo Total	mg/kg ⁻¹	--	468	EPA 365.2
Nitrógeno Total	%	--	0,225	SM 4500-org C/NH3 C ⁻
Relación C/N	-	< 20:1	35	
Cenizas base Húmeda	%	--	54,7	SM 2540 E
Cenizas base Seca	%	--	84,3	SM 2540 E
Conductividad Eléctrica	μS/cm ⁻¹	< 4 μS/cm	830	SM 2510 B
pH	U pH	--	6,8	EPA 9045 D
Coliformes fecales	NMP/g (s)	< 1.000 NMP/g	<1	SM 9221 B
Escherichia coli	NMP/g (s)	< 1.000 NMP/g	<1	SM 9221 F
Salmonella	NMP/4g (s)	< 1 NMP/4 g	<1	SM 9260 B
Huevos de Helminthos	NMP/4g (s)	< 1 HVH/4g	<1	EPA 600/1-87-014

Referencias: ⁽¹⁾ Anexo 01, Resolución 264 – 2011 SENASA. ⁽²⁾ SM: Standard Methods; EPA: Environmental Protection Agency; ASTM: American Standard Testing Materials; L.D.: Límite de Detección; HVH: huevos viables de helmintos. NMP: número más probable. (s): peso seco

En la Tabla 5 se visualizan los valores de CO, MO, P y N aportados al suelo por las dosis propuestas en los tratamientos descriptos en el punto 3.3. Diseño y manejo del experimento.

Tabla 5. Aportes de carbono orgánico, materia orgánica, fósforo y nitrógeno aportados por las dosis propuestas en los tratamientos descriptos en el punto 3.3. Diseño y manejo del experimento

Parámetro	T1	T2	T3
Carbono orgánico (t.ha ⁻¹)	2,93	4,39	5,86
Materia orgánica (t.ha ⁻¹)	3,78	5,67	7,56
Fósforo Total (kg.ha ⁻¹)	17,35	26,03	34,71
Nitrógeno Total (kg.ha ⁻¹)	83,43	125,15	166,86

T1, T2, T3: 6, 9 y 12 kg.m⁻² de CCP

A continuación se muestran los valores de elementos traza o potencialmente tóxicos que contenía la muestra de CCP mencionada anteriormente (Tabla 6), y las cantidades aportadas anualmente por el CCP (kg.ha⁻¹.año⁻¹) para cada dosis (Tabla 7). A la vez se exponen los valores límites recomendados por el marco normativo vigente en Argentina (SENASA, Resolución Conjunta 1-2019).

Tabla 6. Elementos traza potencialmente riesgosos presentes en el compost de cama profunda porcina utilizado

Elementos traza (mg.kg MS)	Valor Límite Argentina ⁽¹⁾	CCP	Método analítico ⁽²⁾
Cadmio	3	0,79	EPA 7130
Cobre	450	78	SM 3111 B
Cromo total	270	14	EPA 7190
Mercurio	5	0,6	EPA 7471 B
Níquel	120	8,4	EPA 7520
Plomo	150	6,3	EPA 7420
Zinc total	1.100	115	EPA 7950

Referencias: ⁽¹⁾ Anexo 01, Resolución 264 – 2011 SENASA. ⁽²⁾ SM: Standard Methods; EPA: Environmental Protection Agency; L.D.: Límite de Detección

Tabla 7. Valores de elementos traza para los tratamientos con diferente dosis de compopst de cama profunda porcina. Valor límite anual de elementos traza recomendado por la Resolución Conjunta 1-2019, SENASA

Elementos traza	Valores aportados por el compost (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)			Valor límite (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
	T1	T2	T3	
Cadmio	0,03	0,04	0,06	0,15
Cobre	2,89	4,34	5,78	12,00
Cromo total	0,52	0,78	1,04	3,00
Mercurio	0,02	0,03	0,04	0,10
Níquel	0,31	0,47	0,62	3,00
Plomo	0,23	0,35	0,47	15,00
Zinc	4,26	6,40	8,53	30,00

T1, T2 y T3: 6, 9 y 12 kg.m⁻² de CCP

3.3. Diseño y manejo del experimento

El diseño experimental utilizado fue en Bloques Completos Aleatorizados con cuatro repeticiones por tratamiento (Figura 5). Cada parcela o unidad experimental (UE) midió 1,4 m de ancho por 7,2 m de largo (10 m²). Se dejó un metro de bordura entre parcelas del mismo bloque.

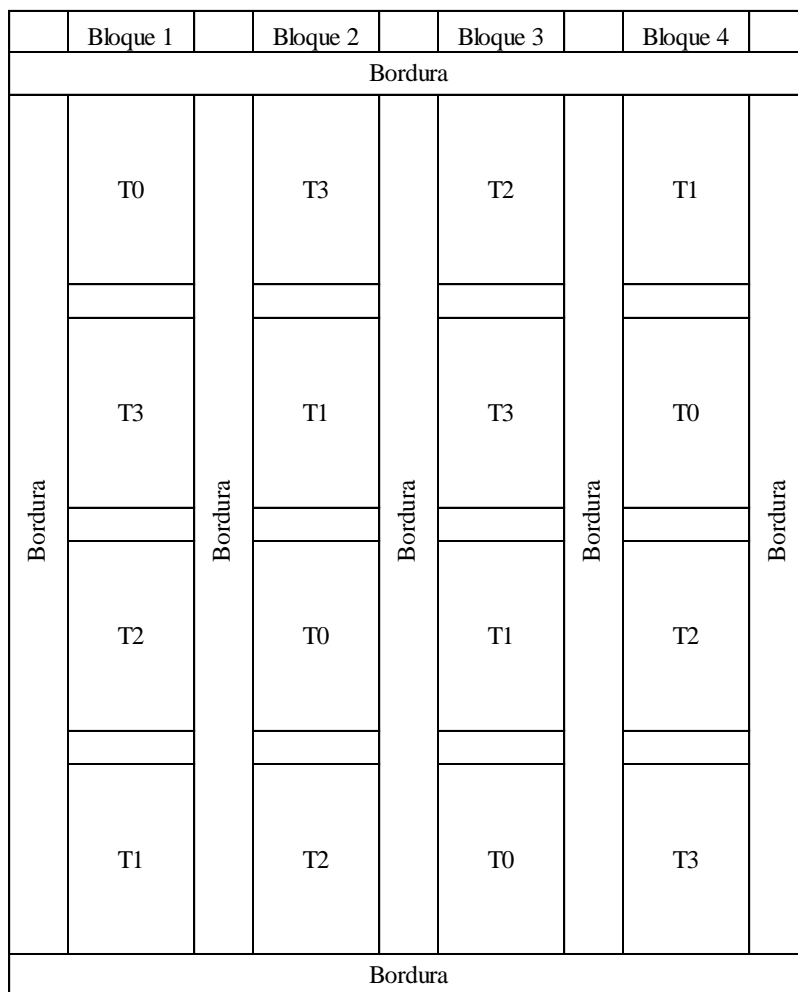


Figura 5. Esquema del diseño experimental

Los tratamientos evaluados fueron tres dosis de compost y un testigo sin aplicación:

- 0 kg.m⁻² (T0)
- 6 kg.m⁻² (T1)
- 9 kg.m⁻² (T2)
- 12 kg.m⁻² (T3)

El material utilizado al momento de la aplicación contenía una humedad de 38,2% expresada en base húmeda. Las dosis de CCP fueron fijadas en base a las utilizadas para otras enmiendas orgánicas por productores de la zona del Cinturón Hortícola de Rosario y reportadas en la bibliografía en estudios similares (Cardoso et al., 2011; Malatay, 2012).

Previo al establecimiento de los experimentos, el suelo fue acondicionado mediante dos labores de cincel, una labor de disco de doble acción y una de vibrocultivador. El 18/05/2017 se confeccionaron platabandas en forma mecánica y se perfeccionaron manualmente (Figura 6

A y 6 B). El compost fue pesado con balanza digital y aplicado al voleo, en forma manual y en las dosis planteadas, incorporándose el material con motocultivador (Figura 6 C y 6 D).



Figura 6. Conformación de las platabandas en forma mecánica (A) y perfeccionamiento en forma manual (B). Pesaje de las dosis de compost de cama profunda (C) e incorporación con motocultivador (D)

Se evaluaron tres ciclos productivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.), variedad acephala o crispa, material comercial Solaris (Empresa Seminis), dos durante el año 2017 y un tercero durante 2018 (Tabla 8).

Tabla 8. Fechas de siembra, trasplante y cosecha de los tres ciclos de cultivo

Ciclo	Siembra	Trasplante	Cosecha
Primero	29/04/2017	31/05/2017	15/08/2017
Segundo	24/09/2017	23/10/2017	12/12/2017
Tercero	23/02/2018	19/03/2018	17/05/2018

La siembra fue en multimacetas de polipropileno de 288 celdas y el trasplante fue en cuatro hileras sobre las platabandas a una densidad de 9,98 plantas.m⁻². La distancia entre plantas fue de 0,30 m y entre líneas de 0,2 m (Figura 7 A). El riego fue por goteo con un lateral cada dos hileras de plantas, marca Isiplast Tape de 16 milímetros de diámetro, con emisores a 0,20 m y con caudal de 0,8 l.h⁻¹ (Figura 7 B). El agua utilizada para el riego fue de perforación; en las Tablas 9 y 10, se muestran los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados por el Centro de Ingeniería Sanitaria perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la UNR.



Figura 7. Plantación de lechuga sobre platabandas (A) y sistema de riego localizado (B)

Tabla 9. Parámetros físico-químicos del agua de riego

Parámetro analizado	Resultado	Método empleado
Color (UC)	< 2	Platino-Cobalto ⁽¹⁾
Turbiedad (UNT)	0,8	Nefelométrico ⁽¹⁾
pH	8,3	Electrométrico ⁽¹⁾
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1.200	Conductimétrico a 25 °C ⁽¹⁾
Sólido Totales ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	770	Secado a 180 °C ⁽¹⁾
Alcalinidad Total ($\text{CaCO}_3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	630	Titulométrico ^c / H_2SO_4 ⁽¹⁾
Dureza Total ($\text{CaCO}_3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	80	Titulométrico ^c /EDTA ⁽¹⁾
Calcio ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	17	Titulométrico ^c /EDTA ⁽¹⁾
Magnesio ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	9	Cálculo Dif. Dureza y Calcio ⁽¹⁾
Cloruro ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	<10	Argentométrico ⁽¹⁾
Sulfato ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	40	Nefelométrico ⁽¹⁾
Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	17	Espectrofotometría UV ⁽¹⁾
Nitrito ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	<0,02	Espectrofotométrico ⁽¹⁾
Amoníaco ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	<0,05	Nessler ⁽¹⁾
Fluoruro ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	2,0	Electrométrico ⁽¹⁾
Arsénico Total ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	70	EAA-ET ⁽²⁾
Hierro Total ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	<0,01	Ferroína ⁽¹⁾
Manganeso Total ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	<0,05	PAN ⁽¹⁾
Sodio ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	320	EEA ⁽³⁾
Potasio ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	15	EEA ⁽³⁾

Referencias: ⁽¹⁾ Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 22nd Ed. 2012. AWWA. ⁽²⁾ Espectrofotometría de Absorción Atómica Electro-Térmica. ⁽³⁾ Espectrofotometría de Emisión Atómica. UC: unidades de color. UNT: unidades nefelométricas de turbidez. EDTA: Ácido etilendiaminotetraacético. UV: luz ultravioleta.

Tabla 10. Parámetros bacteriológicos del agua de riego

Parámetro analizado	Resultado	Método empleado ⁽¹⁾
Bacterias Heterótrofas Totales 35°C – 48 hs (UFC.ml ⁻¹)	200	Recuento en placa. SM 9215 B.
Bacterias Coliformes Totales 35°C – 48 hs (NMP.100ml ⁻¹)	<2,0	Tubos Múltiples. SM 9221 B.
Bacterias Coliformes Fecales 44,5°C – 24 hs (NMP.100ml ⁻¹)	<2.0	Tubos Múltiples. SM 9221 E.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> Presencia ó Ausencia.100 ml ⁻¹	Ausencia	Método Asparagina/Acetamida SM 9213F

Referencias: ⁽¹⁾: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.22nd Ed. 2012. AWWA. UFC: unidad formadora de colonias. NMP: número más probable.

Luego de implantados los cultivos se realizaron las labores culturales necesarias hasta la cosecha, tales como carpidas, escardilladas y riegos. El control sanitario se realizó de acuerdo al Protocolo de Uso y Manejo de Productos Agroquímicos en el Campo Experimental Villarino (Resolución C.D. N° 595). La cosecha se realizó cuando las plantas alcanzaron el momento óptimo de acuerdo a su desarrollo vegetativo, respetando la calidad comercial, Figura 8 A y B).



Figura 8. Plantas de lechuga con calidad comercial del T1 (A) y T3 (B)

T1: 6 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻² de CCP

3.4. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina en parámetros productivos y de calidad en lechuga

3.4.1. Rendimiento expresado en peso fresco (RPF): para medir esta variable se cosecharon diez plantas al azar por UE, en los tres ciclos de cultivo, en forma manual con cuchillo al ras del suelo descartando posteriormente hojas enfermas, sucias, amarillas que no respetaban los parámetros de calidad según Trevor y Cantwell (2011). Las plantas se seleccionaron de las dos líneas de trasplante centrales colocándolas en cajones plásticos identificados. Se midió el peso fresco en forma individual con balanza digital Systel Bumer (máx. 5.000 g \pm 1g) y posteriormente se calculó el rendimiento fresco por unidad de superficie en kilogramo por metro cuadrado.

3.4.2. Número de hojas por planta (NH): se obtuvo a partir de contar el número de hojas a las diez plantas utilizadas para la estimación de rendimiento, en los tres ciclos de cultivo.

3.4.3. Área foliar (AF): para medir esta variable en los tres ciclos de cultivos, se utilizó el Programa Tomato Analyzer 3.0 (Rodríguez et al., 2010), eligiendo al azar una hoja totalmente expandida del tercio superior de las diez plantas utilizadas para medir el rendimiento fresco de cada UE. Posteriormente se colocaron en forma individual en bolsas de polietileno de 20 x 30 cm y conservaron en heladera durante aproximadamente 2 horas hasta su análisis. Luego se escanearon individualmente con Scanner Epson Stylus CX1500 las 160 hojas provenientes de las 16 UE (Figura 9 A), creando una imagen digital de cada una de ellas (Figura 9 B). Con cada imagen se realizó la medición de área foliar expresada en centímetros cuadrados.

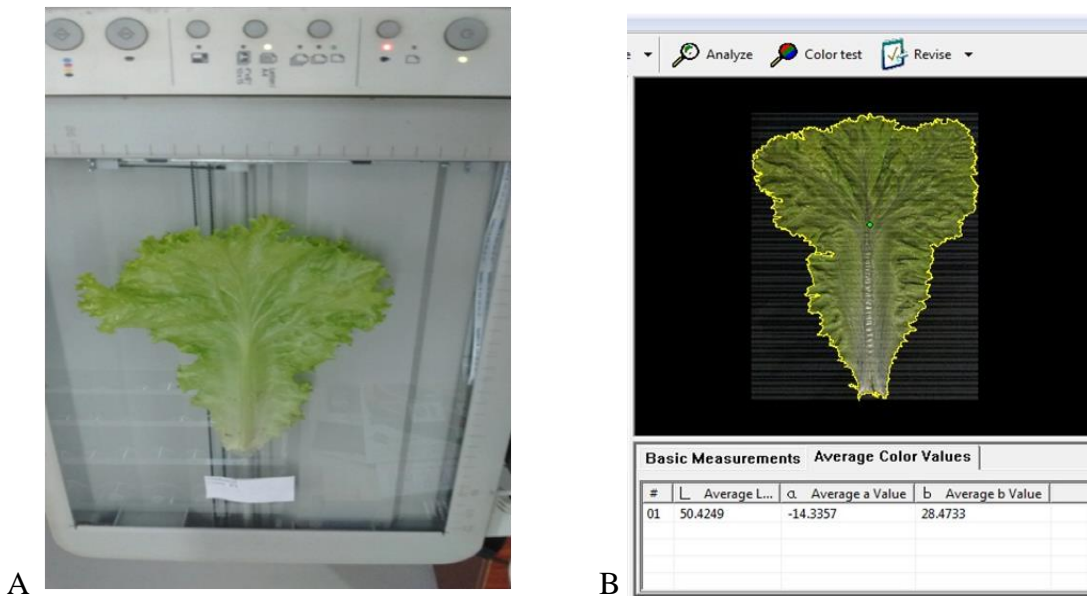


Figura 9. Hoja de lechuga en el escaner Epson Stylus CX1500 (A). Imagen digital de una hoja de lechuga analizada con Programa Tomato Analyzer 3.0 (B)

3.4.4. Índice de Color (IC*): se calculó mediante las imágenes digitales de las 160 hojas utilizadas para la determinación de la variable AF, en los tres ciclos de cultivo. Se obtuvieron los parámetros L* (porcentaje de reflectancia), a* (absorbancias a longitudes de onda de 540 nanómetros) y b* (absorbancias a longitudes de onda de 675 nanómetros) que son los parámetros del sistema color CIELab (Westland, 2001 cito en Ortiz Mackinson et al., 2017 y Grasso et al., 2018) con los cuales se calculó el IC* (Vignoni et al., 2006; Goñi et al., 2010) a través de la expresión [1].

$$[1] \quad IC^* = \frac{a \cdot 1000}{L \cdot b}$$

- Si IC* es negativo (-40 a -20), su valor relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- Si IC* es negativo (-20 a -2), su valor relaciona los colores que van del verde profundo al verde amarillento.
- Si IC* está entre -2 a +2, representa el amarillo verdoso.
- Si IC* es positivo (+2 a +20), se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.
- Si IC* es positivo (+20 a +40), se relaciona con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

3.4.5. Materia seca aérea y radical: para estimar la materia seca (MS) aérea y radical en los tres ciclos de cultivo, se extrajeron cinco plantas con raíz escogidas al azar por cada UE, utilizando pala de punta. Se separó la parte aérea de la radical mediante corte con cuchillo. Las raíces fueron lavadas meticulosamente, secadas y pesadas para obtener el peso fresco utilizando balanza digital Scaltec SBA (máx. 4.200 g \pm 0,1g). Luego cada raíz fue colocada en bolsas de papel madera. La parte aérea fue cortada por la mitad en forma longitudinal, se pesó una de sus mitades y luego se la colocó en bolsas de papel similares a las anteriores (Figura 10 A y B). Posteriormente las muestras, tanto de la parte aérea como radical, se colocaron en estufa a 60 °C hasta peso constante. Luego fueron pesadas para obtener el peso seco utilizando la misma balanza. Para la determinación de la MS aérea y radical, se calculó la relación entre peso fresco y peso seco expresando los resultados en porcentaje.

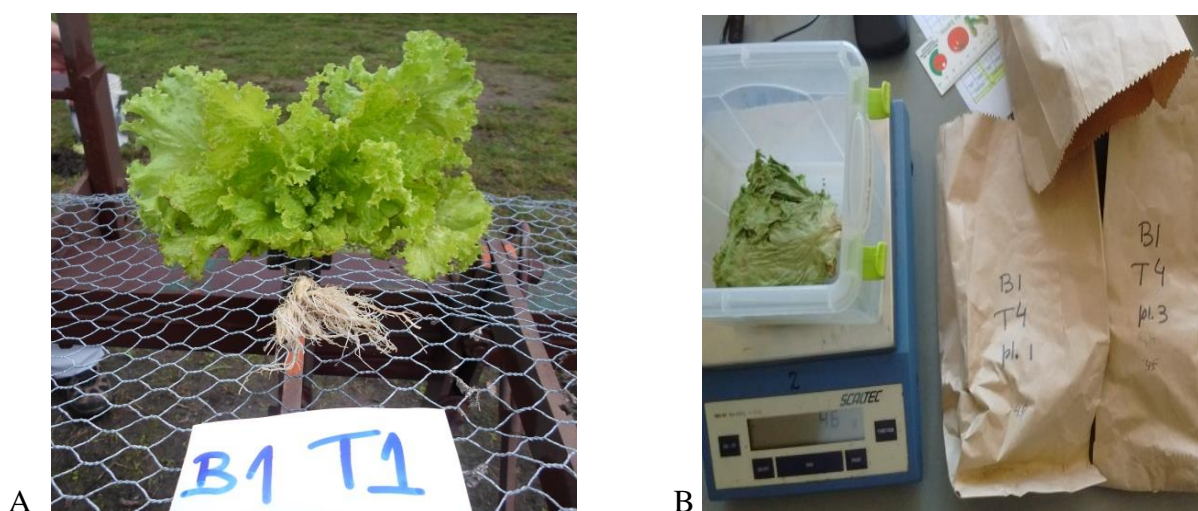


Figura 10. Parte aérea y radical de una planta de lechuga (A) y medición de peso seco (B)

4.6.6. Rendimiento expresado en peso seco (RPS): para obtener esta variable, se afectó el rendimiento fresco de cada tratamiento (T0, T1, T2 y T3) y bloque (1, 2, 3 y 4), por su correspondiente porcentaje de materia seca aérea. Con estos valores se obtuvo el RPS expresado en gramos por metro cuadrado.

3.5. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina en parámetros de calidad organolépticos

Con el objetivo de medir la percepción sensorial de los consumidores, se realizó una prueba de tipo hedónica, pareada, donde se compararon lechugas provenientes de dos tratamientos contrastantes, T0: 0 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻² de CCP, durante el segundo ciclo de cultivo.

Para ello se realizó una degustación de lechugas por parte de los consumidores mediante un cuestionario hedónico (Tabla 11). Se analizaron las siguientes variables:

3.5.1. Aceptabilidad: se midieron los parámetros o atributos: aspecto global, textura, sabor amargo y aroma, donde el participante eligió entre cinco niveles de aceptabilidad: “me disgusta mucho”, “me disgusta”, “me es indiferente”, “me gusta” y “me gusta mucho”. Para realizar el análisis de los resultados, a cada nivel se le asigna un valor numérico del 1 a 5 (1: me disgusta mucho a 5: me gusta mucho). A su vez, los panelistas tuvieron la opción de realizar comentarios libres de cada atributo.

3.5.2. Preferencia: se contabilizó el número de panelistas que eligió cada muestra de acuerdo a su preferencia y se calculó el porcentaje con respecto al total de participantes.

los datos. Luego de ser firmada, se le entregó una muestra homogénea de 15 gramos correspondiente a T0 y T3. El orden para degustar las mismas fue cambiado entre participantes para evitar el sesgo atribuible al orden de degustación. Las mismas fueron presentadas en platos descartables idénticos con numeración de tres cifras (408 y 321), que representaron a los tratamientos respetando el anonimato de los mismos (Figura 11 C). Las plantas fueron conservadas en heladera a 4 °C y las muestras se cortaron con cuchillo a medida que los participantes fueron asistiendo a la degustación (Figura 11 D). El consumidor tuvo a su disposición rodajas de pan y agua como agentes enjuagantes, cuya función es eliminar gustos causados por las muestras que se evalúan antes de continuar con la siguiente.



Figura 11. Plantas de lechugas cosechadas previo al lavado, donde el número 321 corresponde a T3: 12 kg.m⁻² de compost y el número 408 corresponde a T0: 0 kg.m⁻² de compost (A).

Procesamiento (B) y presentación de las muestras (C). Degustación y respuesta del cuestionario hedónico por parte de los consumidores (D)

3.6. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre las propiedades químicas y físico-químicas del suelo

Para evaluar la modificación de las propiedades químicas y físico-químicas del suelo como consecuencia de la aplicación del compost de cama profunda, se extrajeron muestras compuestas de diez submuestras, del espesor 0-20 cm en la etapa de máximo crecimiento del cultivo, en cada ciclo productivo y en cada UE. Las muestras fueron remitidas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNR y al de la Estación Experimental Agropecuaria INTA San Pedro para determinar las siguientes variables:

Carbono orgánico (CO) y materia orgánica (MO): para determinar el carbono orgánico y la materia orgánica, se utilizó el método de Walkley y Black (1934) y la Norma IRAM-SAGPyA, 2009.

Nitrógeno (N): para la determinación del nitrógeno, se utilizó el método de Kjeldahl (1883). Con el objetivo de evaluar el nitrógeno fácilmente disponible en el corto plazo, se cuantificaron los valores de nitratos en el ciclo uno, a través del método de 2,4 fenoldisulfónico o de Harper, Jackson (1964).

Relación carbono-nitrógeno (C/N): para obtener la relación carbono-nitrógeno, se procedió a dividir el valor de CO por el valor de N obtenidos anteriormente en cada muestra.

Fósforo (P): para la determinación del fósforo, se utilizó el método de Bray y Kurtz (1941) y la Norma IRAM-SAGPyA, 2010.

pH: para determinar sus valores, se utilizó la Norma IRAM- SAGPyA, 2009.

Conductividad eléctrica (CE): durante el segundo ciclo de cultivo se compararon los tratamientos que recibieron CCP con el testigo para evaluar el posible riesgo de salinización del suelo mediante la medición de la conductividad eléctrica. Para ello se utilizó la Norma IRAM 21322, 2006.

3.7. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre propiedades físicas del suelo

3.7.1. Estabilidad estructural (EE): esta variable se estimó siguiendo el método de Henin (1972) utilizando el pre-tratamiento con agua. Para ello se extrajeron muestras compuestas de diez submuestras, del espesor 0-20 cm en la etapa de máximo crecimiento del cultivo, en los tres ciclos productivos y en cada UE. Posteriormente se tomó una muestra de cinco gramos oreada y tamizada por malla de 2 mm (Figura 12 A) y se humectó con 80 ml de agua (Figura 12 B), para posteriormente realizar un tamizado bajo el agua, utilizando el aparato de Feodoroff y un tamiz de 0,20 mm. Se recuperó el material retenido en el tamiz y se llevó a estufa (105 °C) para determinar su peso seco. La proporción de agregados estables al agua (EE) se calculó a través de la expresión [2].

$$[2] \quad EE \text{ agua } (\%) = \frac{PS(g)}{5(g)} * 100$$

Donde PS es el peso seco de los agregados retenidos en el tamiz de 0,20 mm luego del agitado.



Figura 12. Tamizado de las muestras de suelo por malla de dos milímetros (A) y humectación de las mismas previa a la agitación mediante el aparato de Feodoroff

3.7.2. Densidad aparente (DA) y porosidad total (PT): para determinar la densidad aparente se realizaron tres determinaciones por UE y en los tres ciclos de cultivo. En este trabajo se utilizó un muestreador que consta de un cilindro metálico que contiene en el interior de su extremo inferior un cilindro removible de 132 cm³. Éste se introdujo en el espesor de 5-10 cm del suelo haciendo caer una pesa de 3,27 kg desde una altura de 107 cm (Figura 13 A). Luego de extraer el muestreador del suelo, se retiró el cilindro interior y se enrasó con cuchillo los dos extremos (Figura 13 B). Los cilindros enrasados se envolvieron con papel de aluminio cuidando de que no se pierda material (Figura 13 C) y se llevaron a laboratorio para

su secado en estufa a 105 °C por 48 horas. Posteriormente se determinó su peso seco para establecer la masa correspondiente (Blake y Hartge, 1986), Figura 13 D.

El valor de DA se obtiene a través de la expresión [3].

$$[3] \quad DA = \frac{\text{Masa seca (g)}}{\text{Volúmen total (cm}^3\text{)}}$$



Figura 13. Introducción del muestreador de densidad en la platabanda (A), enrase de la muestra extraída (B), identificación y protección con papel de aluminio (C) y determinación del peso seco luego del secado en estufa, para los tratamientos evaluados

La porosidad total (PT) es un índice del volumen relativo de poros en el suelo. Se obtuvo a través de la expresión [4], (Blake y Hartge, 1986).

$$[4] \quad PT = \left(1 - \frac{DA}{Dr}\right) * 100$$

DA: densidad aparente

Dr: densidad de partícula o real, para suelos francos corresponde el valor de 2,65 g.cm³

3.7.3. Resistencia mecánica a la penetración (RP): para estimar esta variable se realizaron tres determinaciones en cada UE en cada ciclo productivo. Para ello se empleó un penetrómetro de cono de acción vertical Meridiens, que posee un cono con ángulo de ataque de 30°, cuya velocidad de penetración según norma ASAE (Asociación Americana de Ingenieros Agrónomos) S 313, se fija en 30,5 mm.s⁻¹. El resultado se expresa en unidades de presión que surgen de dividir el esfuerzo para introducir el cono en el suelo, por la superficie de la base del cono usado. La fuerza es marcada por un reloj que lleva el instrumento, mientras que para la superficie se toma el área de proyección del cono. Los valores obtenidos fueron transformados en mega pascales (MPa) y ajustados por humedad. Los datos presentados corresponden al índice de cono que surge del promedio de las medidas de resistencia a la penetración para dos rangos de profundidades: 0-10 cm y 10-20 cm.

3.7.4. Infiltración (I): para determinar la tasa de infiltración, se realizaron tres mediciones por UE y en cada ciclo de cultivo, utilizando anillos de infiltración simples (United States Department of Agriculture, USDA, 1999). Se trabajó con anillos de PVC de 15,24 cm de diámetro (6 pulgadas), que se introdujeron en el suelo. Posteriormente se cubrió el anillo y la superficie del suelo dentro del anillo con una lámina de polietileno. Este procedimiento evita disturbar la superficie del suelo al agregar el agua. Se agregaron 444 ml de agua, lo que equivale a una lámina de 25 mm (Figura 14 A). Ésta se vertió sobre el polietileno, el cual fue retirado lentamente tirando hacia afuera y se controló el tiempo que tardó en desaparecer de la superficie. Se repitió nuevamente el ensayo de infiltración (Figura 14 B). Los minutos transcurridos para la segunda medición, corresponden al dato que se utilizó para calcular la tasa de infiltración a través de la expresión [5].

$$[5] \quad I (\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{25 \text{ mm}}{(\text{Tf} - \text{Ti})}$$

Donde: Tf corresponde al tiempo de finalización del ensayo y Ti corresponde al tiempo de inicio.



Figura 14. Colocación de la lámina de 25 mm de agua en el anillo de PVC (A) y medida del tiempo de infiltración (B)

3.8. Análisis estadísticos

Se comprobó la normalidad (Shapiro-Wilks) y la homogeneidad (ANAVA de residuos absolutos) de los datos para variables productivas y de calidad de lechuga. Posteriormente se realizó un ANAVA y comparación de medias con test de Tukey o test de Kruskal Wallis según se cumplieran o no los supuestos de normalidad. Se realizó análisis de regresión entre rendimiento y dosis de CCP. Se utilizó Infostat Professional (Di Rienzo et al., 2016).

Para la evaluación organoléptica, con los valores obtenidos en el cuestionario hedónico se transformaron las categorías cualitativas a un valor numérico siguiendo la escala que va desde “me disgusta mucho” (1) a “me gusta mucho” (5). Posteriormente se compararon las medias a través del análisis estadístico de Kruskal Wallis para los parámetros aspecto, textura, sabor amargo y aroma. Se emplearon técnicas de estadística descriptiva para analizar la distribución de frecuencias relativas de las distintas categorías cualitativas para cada atributo. Se utilizó

Infostat Professional (Di Rienzo et al., 2016). Para analizar la preferencia de los consumidores, se utilizó el test de Roessler et al. 1956 (Anexo II), que muestra el número mínimo de juicios necesarios para establecer diferencias estadísticas (5%). A su vez, se analizaron los comentarios libres en base a las normas AFNOR V09-500 para cada uno. Para ello se realizó un conteo de todos los términos descriptos por los participantes en la sección de comentarios de la encuesta, se descartaron los netamente hedónicos o irrelevantes (lindo, feo, rico, etc.) y luego se agruparon los términos sinónimos. Con los descriptores más relevantes, se realizaron gráficos de “radar” para analizar la distribución de los comentarios de cada parámetro.

Para evaluar el efecto del agregado de CCP sobre las variables edáficas, se ajustó un modelo lineal general y mixto para datos longitudinales, considerando la existencia de correlación residual entre observaciones provenientes de la misma parcela. Se especificaron diferentes modelos de estructura de correlación de los errores, de estructura de varianza y de efectos aleatorios. Mediante criterios de verosimilitud penalizada AIC (Akaike information criterion) y BIC (Bayesian information criterion) se eligió el modelo que mejor describió a los datos, para posteriormente realizar comparaciones entre tratamientos y estudiar el efecto del tiempo o ciclos de cultivo. Se utilizó el Análisis de modelo lineal generalizado (MLG) y modelo lineal mixto (MLM) de Infostat (Di Rienzo, 2019). Se tomaron como efectos fijos tratamiento, tiempo y la interacción. Se realizaron contrastes de interés en los casos donde la interacción fue significativa. Para las variables nitratos y conductividad eléctrica analizadas solo en el ciclo 1 y 2 respectivamente, se realizó ANAVA y comparación de medias con test de Tukey, previa comprobación de los parámetros del modelo.

4. RESULTADOS

4.1. Evaluación del efecto de la incorporación de compost de cama profunda porcina en parámetros productivos y de calidad en lechuga

4.1.1. Rendimiento expresado en peso fresco

Se hallaron diferencias significativas en el rendimiento en peso fresco de lechuga ($p < 0,05$), para los ciclos uno y dos, obteniéndose mayor producción en los tratamientos de alta dosis de CCP (T2 y T3). El aumento de RPF en T3 respecto a T0 en el primer ciclo fue de 29% ($1,84 \text{ kg.m}^{-2}$ en comparación a $1,43 \text{ kg.m}^{-2}$) y en el segundo fue de 37% ($2,09 \text{ kg.m}^{-2}$ en comparación a $1,53 \text{ kg.m}^{-2}$). En el tercer ciclo no se hallaron diferencias estadísticas, observándose solo un 3% de aumento de rendimiento de T3 con respecto a T0 ($1,08 \text{ kg.m}^{-2}$ versus $1,11 \text{ kg.m}^{-2}$), Figura 15.

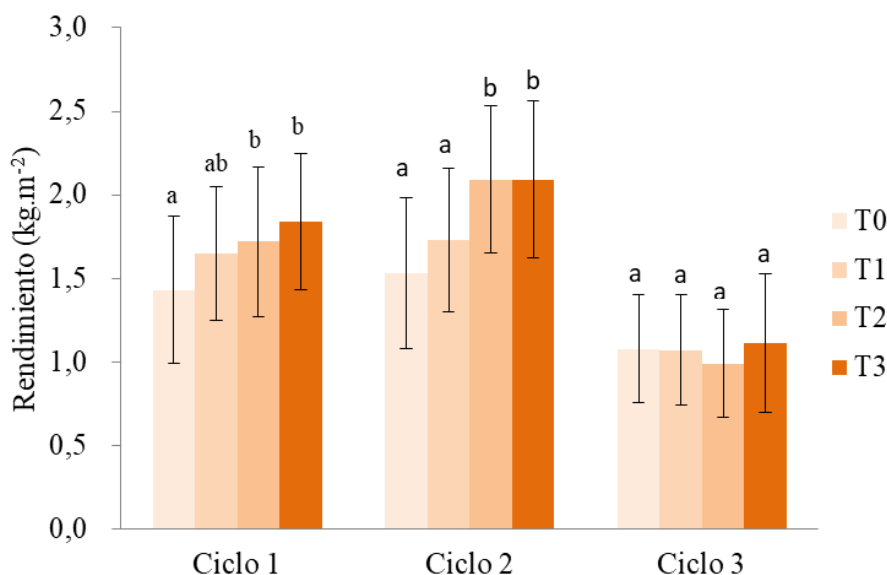


Figura 15. Rendimiento expresado en peso fresco para los tratamientos evaluados en los tres ciclos de cultivo de lechuga

Medias con letras distintas en cada ciclo son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m^{-2} , T2: 9 kg.m^{-2} y T3: 12 kg.m^{-2}

El análisis de regresión realizado entre la variable rendimiento y dosis de CCP, indica que en los ciclos uno y dos se produjo un aumento de 33 y 50 g.m^{-2} por cada kilo de compost incorporado al suelo. El grado de ajuste lineal (R^2) fue de $0,28$ y $0,40$ respectivamente, es decir que el 28% y 40% de los cambios en el rendimiento están explicados por las dosis de

compost aplicadas al suelo (Figuras 16 y 17). Las pendientes de las regresiones lineales resultaron estadísticamente significativas ($p < 0,02$) para ambos ciclos. En el ciclo tres no hubo respuesta en el rendimiento ante la incorporación de diferentes dosis de compost por lo que no se analizó la relación entre variables.

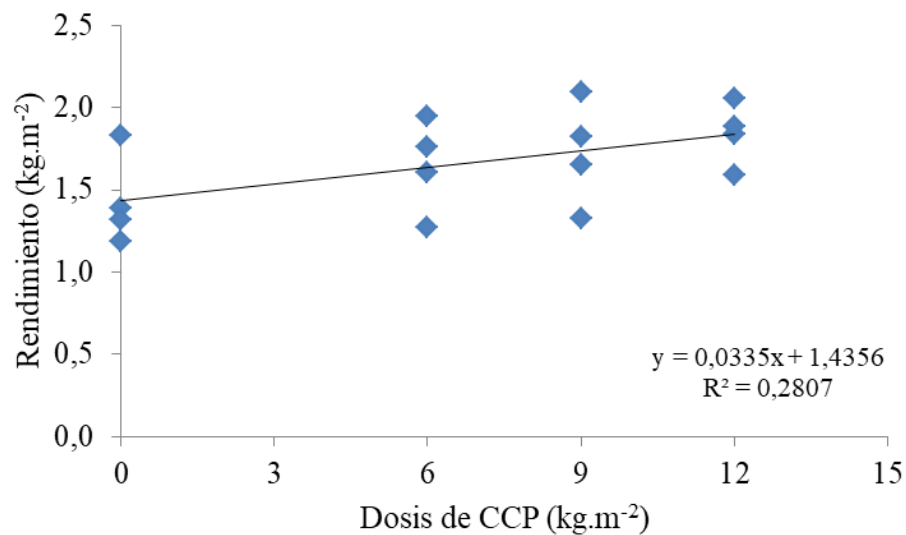


Figura 16. Regresión lineal entre rendimiento expresado en peso fresco y las dosis de compost de cama profunda porcina aplicadas para los distintos tratamientos. Ciclo 1

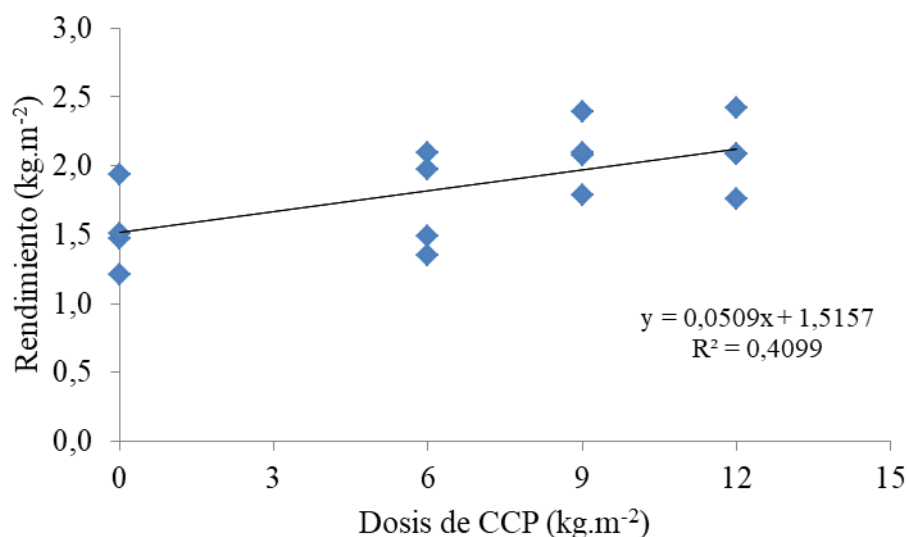


Figura 17. Regresión lineal entre rendimiento expresado en peso fresco y las dosis de compost de cama profunda porcina aplicadas para los distintos tratamientos. Ciclo 2

4.1.2. Número de hojas por planta

En el primer ciclo de cultivo no se hallaron diferencias estadísticas para la variable número de hojas por planta; sin embargo sí fueron observadas ($p < 0,05$) en el segundo y tercer ciclo. En el ciclo 2 el número de hojas por planta fue mayor en los tratamientos que recibieron las dosis más elevadas de CCP (T2 y T3) con respecto al testigo sin aplicación de compost (T0) y a la dosis menor (T1). En el tercer ciclo se observó una marcada diferencia entre el número de hojas del testigo sin aplicación de CCP (T0) y la dosis intermedia (T2), Tabla 12.

Tabla 12. Número de hojas por planta observado durante los tres ciclos de cultivo para cada tratamiento

Tratamiento	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
T0	14,8 ± 2,1 a	22,2 ± 3,4 a	18,1 ± 3,5 a
T1	15,4 ± 1,7 a	22,8 ± 3,2 a	16,6 ± 3,2 ab
T2	15,6 ± 1,9 a	25,4 ± 2,5 b	15,9 ± 3,5 b
T3	15,6 ± 2,3 a	24,8 ± 2,4 b	17,6 ± 3,9 ab

Medias ± DE con letras distintas en cada ciclo son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

4.1.3. Área foliar

En el primer ciclo de cultivo de lechuga, se hallaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para la variable área foliar diferenciándose los tratamientos con aplicación de CCP (T1, T2 y T3) del tratamiento sin aplicación (T0). Se observó un aumento de 18% en el área foliar de las hojas provenientes de T3 con respecto a T0. En el segundo ciclo, se observaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$), diferenciándose los tratamientos T2 y T3 de T0, observándose un aumento de 16% en el AF de las hojas provenientes de T3 con respecto a T0. En el tercer ciclo no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 13).

Tabla 13. Área foliar (cm²) observada durante los tres ciclos de cultivo para cada tratamiento

Tratamiento	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
T0	139 ± 31 b	141 ± 24 b	150 ± 30 a
T1	157 ± 28 a	154 ± 28 ab	146 ± 24 a
T2	161 ± 30 a	165 ± 27 a	143 ± 39 a
T3	164 ± 32 a	163 ± 26 a	150 ± 38 a

Medias ± DE con letras distintas en cada ciclo son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

4.1.4. Índice de color

Los valores de índice de color obtenidos en esta investigación para los cuatro tratamientos, se encontraron en el rango de -20 a -2, abarcando colores que van del verde profundo (menor valor) al verde amarillento (mayor valor). En el primer ciclo de cultivo se hallaron diferencias estadísticas, donde T3 presentó el menor valor IC* diferenciándose claramente de T0 y T1, mientras que para T2 se hallaron valores intermedios. A la vez se observaron diferencias significativas en el segundo ciclo, siguiendo con una tendencia similar al primero, donde los valores de IC* difieren entre T3 y T0. No se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos en el tercer ciclo. En todos los casos, el tratamiento con incorporación de la mayor dosis de CCP (T3) presentó el menor valor absoluto de IC*, lo que corresponde un color verde más oscuro (Figura 18).

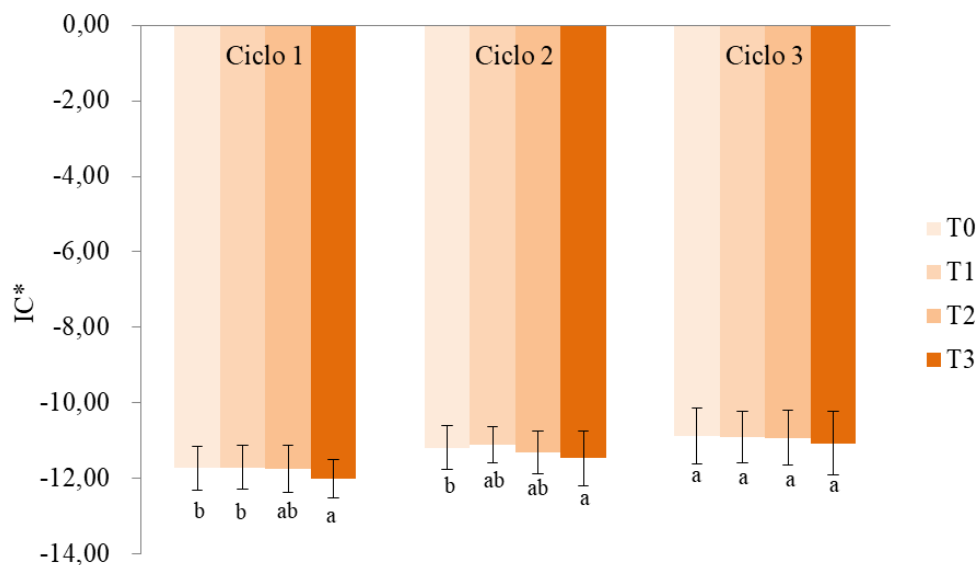


Figura 18. Índice de color (IC*) observado para los tratamientos evaluados en los tres ciclos. Medias con letras distintas en cada ciclo son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m^{-2} , T2: 9 kg.m^{-2} y T3: 12 kg.m^{-2}

4.1.5. Materia seca aérea y radical

En el primer y tercer ciclo no se hallaron diferencias estadísticas en el porcentaje de materia seca aérea y radical en las plantas de lechuga (Tablas 14 y 15). En el segundo ciclo se encontraron diferencias ($p < 0,05$) para ambas variables. Para materia seca aérea, se observaron claras diferencias entre el tratamiento sin incorporación de CPP (T0) y los que recibieron mayores dosis (T2 y T3), hallando para T1 valores intermedios. Para materia seca radical las diferencias fueron marcadas entre T0 y T3, hallando para T1 y T2 valores intermedios.

Tabla 14. Materia seca aérea (%) observada durante los tres ciclos de cultivo para cada tratamiento

Tratamiento	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
T0	$8,82 \pm 1,10$ a	$7,30 \pm 0,55$ a	$4,77 \pm 0,97$ a
T1	$8,14 \pm 1,10$ a	$7,09 \pm 0,92$ ab	$4,33 \pm 0,95$ a
T2	$8,09 \pm 1,09$ a	$6,83 \pm 0,47$ b	$4,23 \pm 0,79$ a
T3	$8,07 \pm 1,30$ a	$6,78 \pm 0,69$ b	$4,69 \pm 0,99$ a

Medias \pm DE con letras distintas en cada ciclo son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m^{-2} , T2: 9 kg.m^{-2} y T3: 12 kg.m^{-2}

Tabla 15. Materia seca radical (%) observada durante los tres ciclos de cultivo para cada tratamiento

Tratamiento	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
T0	12,04 ± 1,25 a	13,57 ± 2,32 a	6,66 ± 1,61 a
T1	12,11 ± 2,34 a	12,87 ± 1,85 ab	7,08 ± 3,21 a
T2	11,53 ± 1,96 a	12,73 ± 2,14 ab	6,97 ± 1,93 a
T3	11,59 ± 2,25 a	11,61 ± 2,23 b	6,81 ± 2,51 a

Medias ± DE con letras distintas en cada ciclo son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

4.1.6. Rendimiento expresado en peso seco

Se hallaron diferencias estadísticas entre tratamientos en los tres ciclos de cultivo para la variable RPS (Figura 19). En el primer ciclo se observó un aumento de 18% en T3 con respecto al tratamiento sin incorporación de CCP (T0). En el segundo ciclo el aumento fue de 28% y 26% para T2 y T3 comparados con T0 respectivamente. En el tercer ciclo el incremento observado fue de 9% para T0 comparado con T2 y de 23% a favor de T3 con respecto a T2.

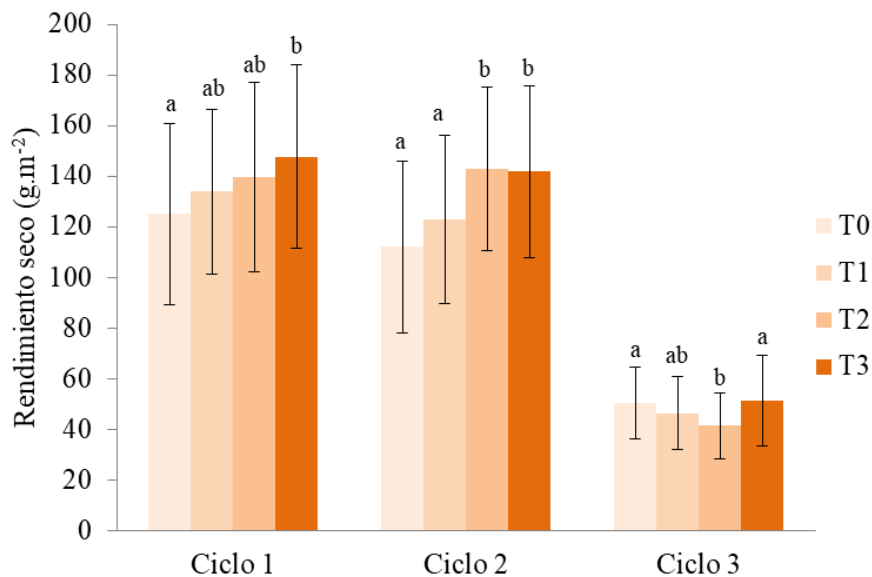


Figura 19. Rendimiento expresado en peso seco observado para los tratamientos evaluados en los tres ciclos de cultivo

Medias con letras distintas en cada ciclo son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

4.2. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina en parámetros de calidad organolépticos

4.2.1. Aceptabilidad

Respecto a la aceptabilidad, no se hallaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para los atributos aspecto global, textura, sabor amargo y aroma (Tabla 16). Sin embargo, la lechuga proveniente de T3, fue la más aceptada en cuanto al aspecto global si se considera un $p < 0,07$.

Tabla 16. Aceptabilidad de los atributos aspecto global, textura, sabor amargo y aroma para las muestras T0 y T3

Muestra	Aspecto global	Textura	Sabor amargo	Aroma
T0	3,79 \pm 0,89 a	3,68 \pm 0,98 a	3,35 \pm 1,16 a	3,44 \pm 0,73 a
T3	4,11 \pm 0,68 a	3,83 \pm 0,86 a	3,72 \pm 1,01 a	3,46 \pm 0,65 a

Medias \pm DE con letras distintas en cada ciclo son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0: sin aplicación de compost y T3: 12 kg.m⁻²

En las Figuras 20 a 23 se presentan los resultados del cuestionario hedónico para cada atributo.

A partir del análisis de las frecuencias relativas de las categorías cualitativas para cada uno de los atributos, se puede inferir que la aceptabilidad medida a través del aspecto global, alcanzó para la categoría “me gusta”, un 47% de elección para T0 y un 64% para T3, presentando esta última, una puntuación mayor de aceptabilidad para el parámetro aspecto global deseable por el consumidor. En la Figura 20, se presenta el número de participantes por muestra para cada categoría.

Para el atributo textura, la aceptabilidad para la categoría “me gusta”, alcanzó un 49% de elección para T0 y un 57% para T3. En la Figura 21, se presenta el número de participantes por muestra para cada categoría.

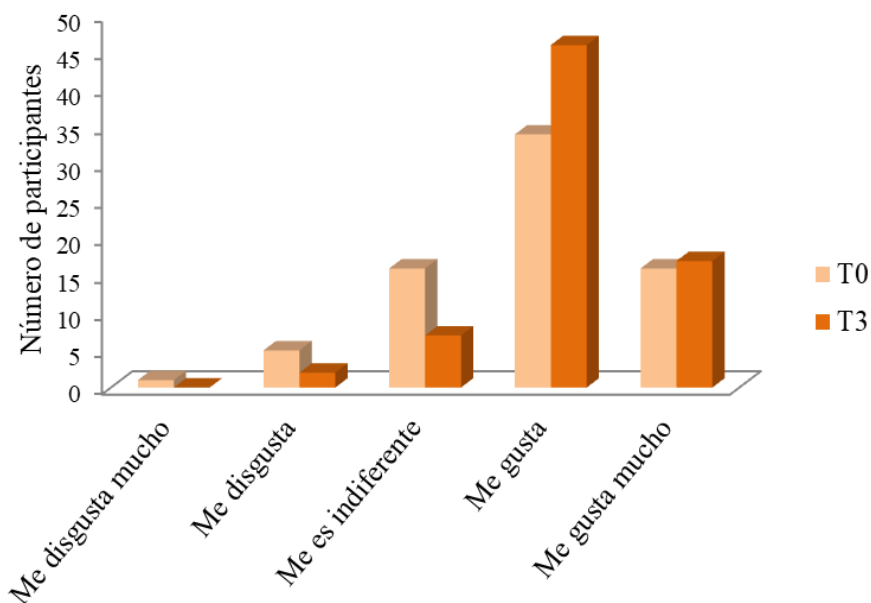


Figura 20. Resultados del cuestionario hedónico para el atributo aspecto global de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

T0: sin aplicación de compost y T3: con incorporación de 12 kg.m⁻² de CCP

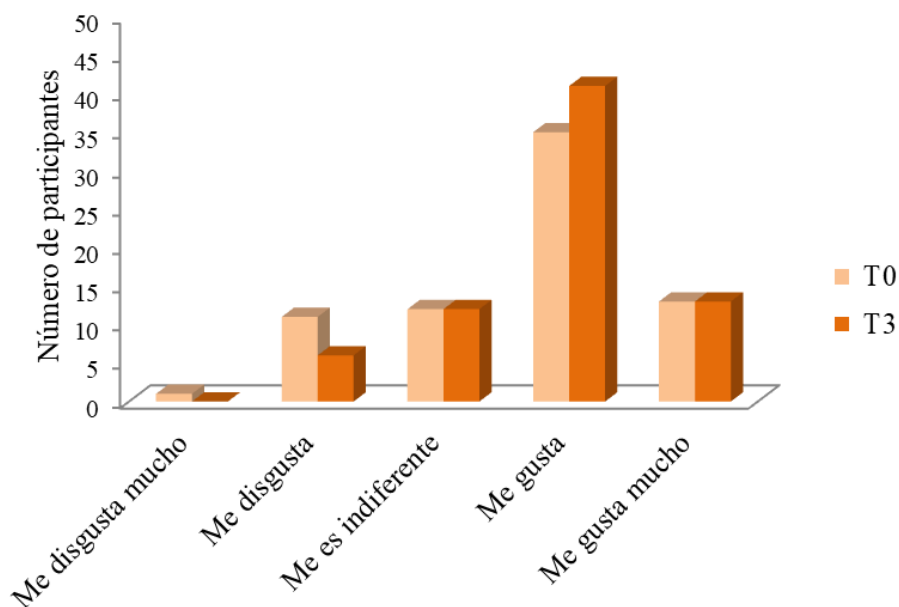


Figura 21. Resultados del cuestionario hedónico para el atributo textura de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

T0: sin aplicación de compost y T3: con incorporación de 12 kg.m⁻² de CCP

A diferencia de los atributos evaluados anteriormente, la aceptabilidad del sabor amargo se encuentra repartida entre “me disgusta” y “me gusta mucho”, obteniendo la mayor aceptabilidad “me gusta” con valores de 40% de elección para T0 y un 36% para T3 (Figura 22).

La aceptabilidad del atributo aroma se repartió mayoritariamente para ambas muestras entre dos categorías. Para la categoría “me es indiferente” el 51% de las personas eligió T0 y el 57% eligió T3. Para “me gusta” el 36% eligió T0 y el 38% T3 (Figura 23).

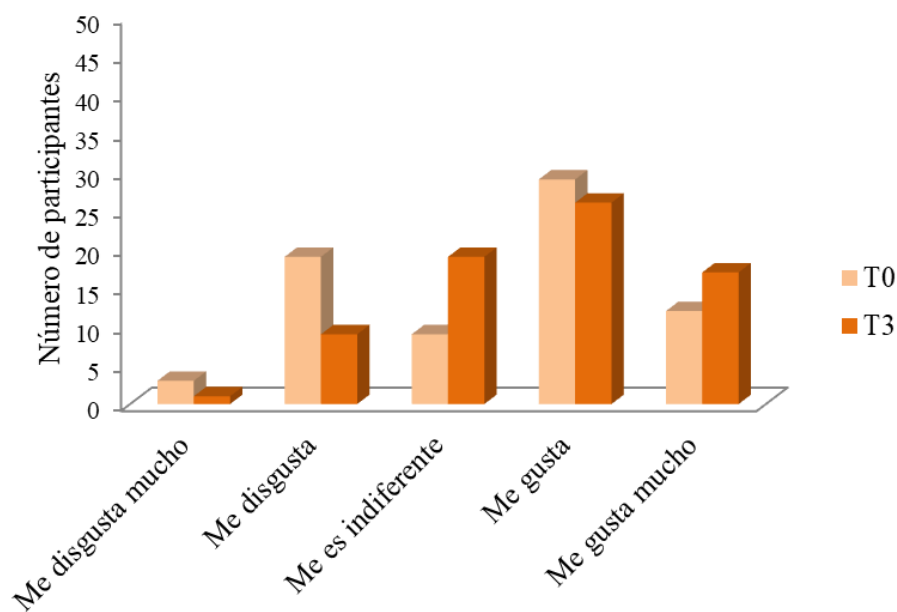


Figura 22. Resultados del cuestionario hedónico para el atributo sabor amargo de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

T0: sin aplicación de compost y T3: con incorporación de 12 kg.m⁻² de CCP

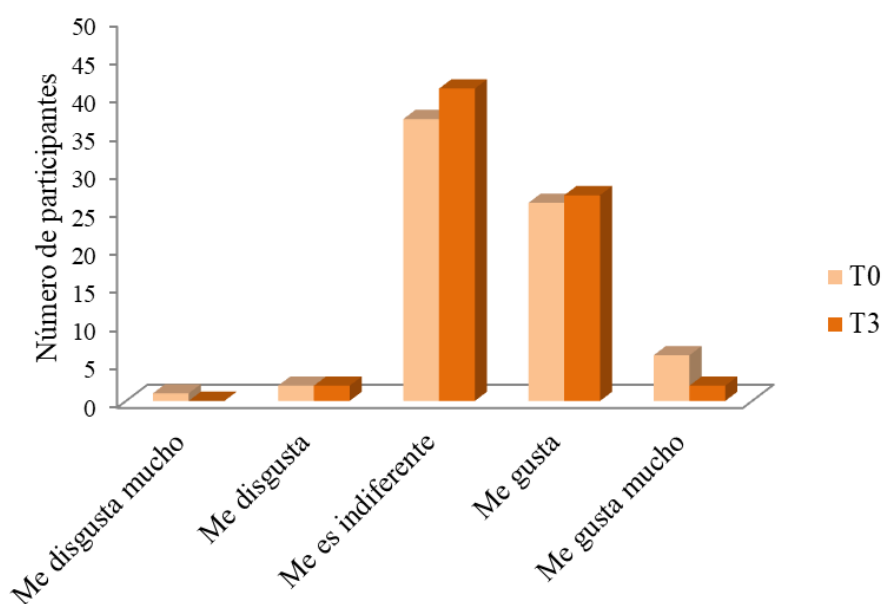


Figura 23. Resultados del cuestionario hedónico para el atributo aroma de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

T0: sin aplicación de compost y T3: con incorporación de 12 kg.m⁻² de CCP

En las Figuras 24 a 27 se muestran los resultados del análisis de comentarios libres realizados por los participantes. Las figuras indican la cantidad de comentarios para los atributos aspecto global, textura, sabor amargo y aroma. El uso de gráficos radar permite proyectar de manera visual, los comentarios asociados al consumo de lechuga proveniente de los diferentes tratamientos. Cabe destacar que no todos los participantes realizaron dichos comentarios.

Para el atributo aspecto global los consumidores comentaron que las muestras provenientes de T3 fueron mayoritariamente “color intenso” y para las provenientes de T0 los comentarios descriptos fueron “color intenso” y “verde claro” (Figura 24).

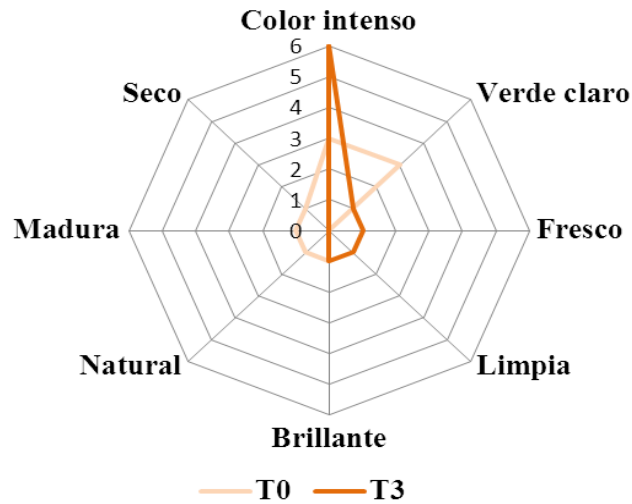


Figura 24. Cantidad de comentarios en la prueba de degustación para el atributo aspecto global de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

T0: sin aplicación de compost y T3: con incorporación de 12 kg.m⁻² de CCP

Para textura (Figura 25), se distingue que los descriptores comentados para la lechuga provenientes de T3 fueron “tierna-suave-blanda”, mientras que para lechugas provenientes de T0 los descriptores seleccionados por los participantes en mayor proporción fueron “crocante-crujiente” y “turgente-firme-fibrosa”.

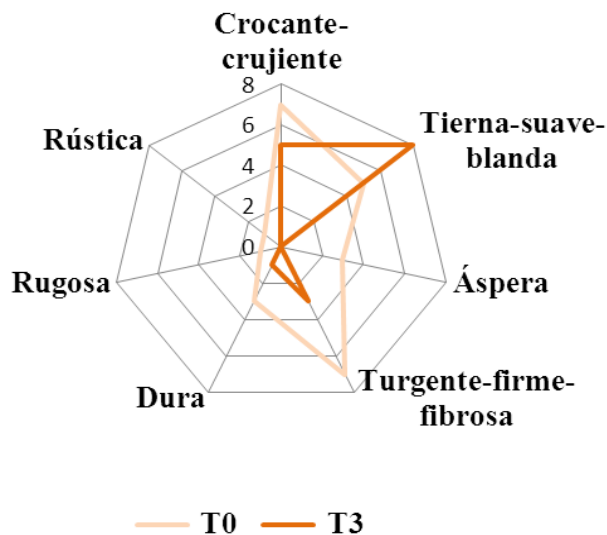


Figura 25. Cantidad de comentarios en la prueba de degustación para el atributo textura de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

T0: sin aplicación de compost y T3: con incorporación de 12 kg.m⁻² de CCP

Para el parámetro sabor amargo (Figura 26), los descriptores mencionados fueron principalmente “amargo suave” para las muestras provenientes de T3 y “amargo intenso” y “amarga” para las provenientes de T0.

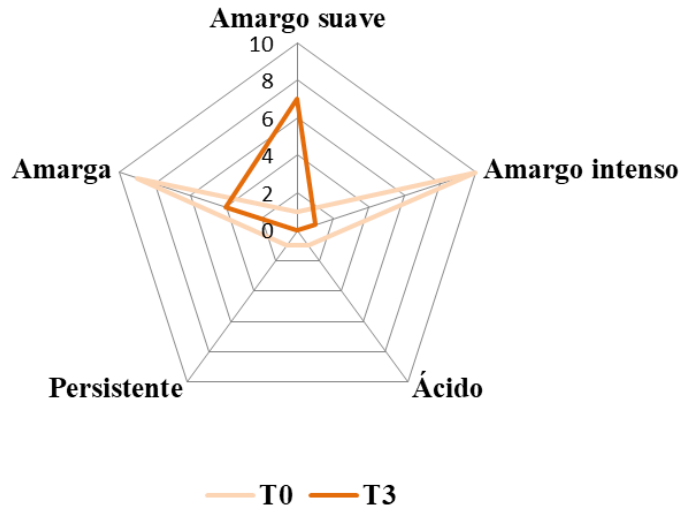


Figura 26. Cantidad de comentarios en la prueba de degustación para el atributo sabor amargo de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

T0: sin aplicación de compost y T3: con incorporación de 12 kg.m⁻² de CCP

Para el atributo aroma (Figura 27), los comentarios mencionados mayoritariamente fueron “suave” para las muestras provenientes de T3 y “suave” y “fresco” para las T0.

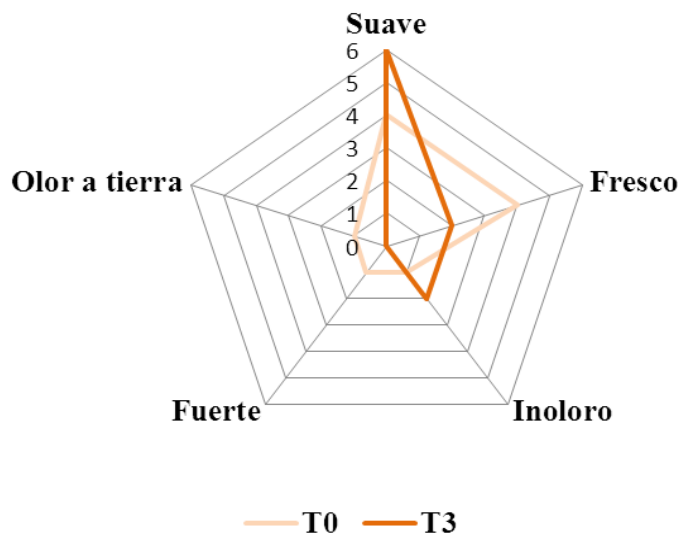


Figura 27. Cantidad de comentarios en la prueba de degustación para el atributo aroma de las muestras provenientes de los tratamientos T0 y T3

T0: sin aplicación de compost y T3: con incorporación de 12 kg.m⁻² de CCP

4.2.2. Preferencia

Según el análisis de Roessler et al. (1956), se hallaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) en la preferencia o elección de los panelistas sobre las dos muestras, donde el número mínimo de juicios necesarios para establecer diferencias significativas es de 45 participantes de un total de 72 (Anexo 3). El 64% de los panelistas, eligió la lechuga proveniente del tratamiento con agregado de compost de cama profunda (Figura 28).

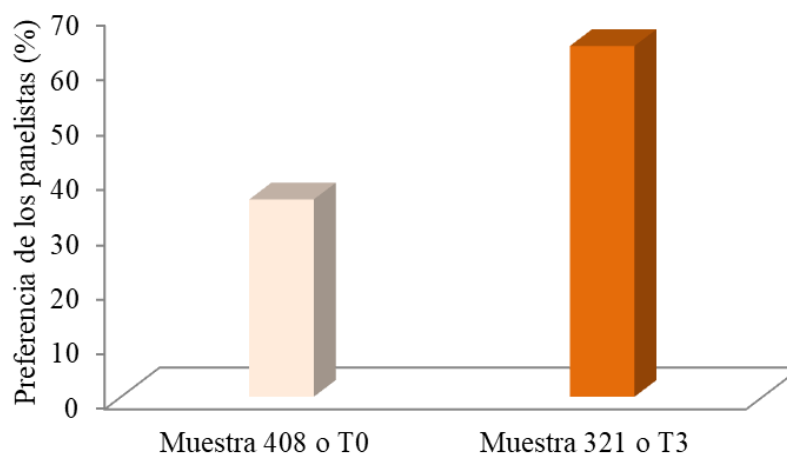


Figura 28. Preferencia de los panelistas de las muestras T0 y T3
T0: sin aplicación de compost y T3: con incorporación de 12 kg.m^{-2} de CCP

4.3. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre las propiedades químicas y físico-químicas del suelo

El análisis estadístico aplicando modelos lineales generales y mixtos, con distintas estructuras de covarianza, consideró como efectos fijos, tratamiento, tiempo y la interacción entre ambos. A continuación se presentan los resultados para las variables en las que no se halló interacción entre factores. Las variables N y P mostraron interacción entre los factores tratamiento y ciclo, por lo que no se compararon las medias y en su lugar se realizaron contrastes de interés.

El efecto de la incorporación de CCP sobre el contenido de carbono orgánico del suelo a lo largo de los ciclos de lechuga, se muestra en la Figura 29. El análisis de las medidas repetidas en el tiempo, indicó que el modelo que mejor describió la distribución de los datos de CO, fue

el que consideró efecto aleatorio en bloque, estructura de errores independientes y estructura de la varianza homoscedástica. La MO presentó el mismo comportamiento que el CO debido a que la relación entre estas propiedades es constante. Para ambas variables la interacción entre el tiempo y los tratamientos, resultó ser no significativa (Tabla 17).

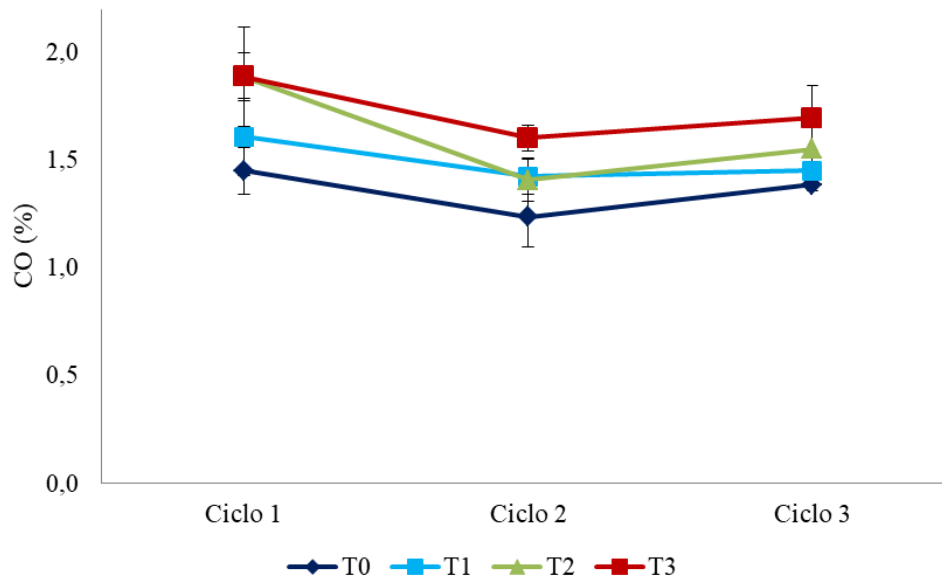


Figura 29. Relación entre la variable carbono orgánico (CO) y el tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

El análisis de medias de los tratamientos para CO y MO, manifiesta que no existen diferencias significativas en la trayectoria a través del tiempo (Tabla 18). En cambio, se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos con agregado de CCP y el testigo sin aplicación, en promedio de todos los tiempos. Asimismo se observaron diferencias entre dosis de compost, con una tendencia creciente en el contenido de CO y de MO al aumentar la dosis (T1 ≤ T2 ≤ T3), y diferencias significativas entre T1 y T3 (Tabla 19). El aumento promedio de estas dos variables con respecto a T0 en el espesor 0-20 cm, correspondió a 10, 19 y 27% para T1, T2 y T3 respectivamente.

Tabla 17. Valores de probabilidad obtenidos de las pruebas de hipótesis para las variables carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), relación carbono-nitrógeno (C/N), pH y fósforo (P). Efectos tratamientos, tiempo e interacción (tratamiento*tiempo)

Variable	Efecto		
	Tratamiento	Tiempo	Tratamiento * Tiempo
CO (%)	<0,0001	0,1359	0,4315
MO (%)	<0,0001	0,1399	0,4474
N (%)	<0,0497	0,0006	0,0317
C/N	0,2782	0,0013	0,4930
pH	0,7317	<0,0001	0,9089
P (ppm)	0,001	0,3617	0,0226

Tabla 18. Medias obtenidas para las variables carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), relación carbono-nitrógeno (C/N) y pH para cada ciclo, promedio de los tratamientos

Variable	Tiempo		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
CO (%)	1,71 a	1,52 a	1,42 a
MO (%)	2,94 a	2,62 a	2,44 a
C/N	16,0 a	13,6 b	11,3 c
pH	7,40 b	8,63 a	8,60 a

Medias con letras distintas entre ciclos para cada variable son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Tabla 19. Medias obtenidas para las variables carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), relación carbono-nitrógeno (C/N) y pH de los tres ciclos para cada tratamiento

Variable	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
CO (%)	1,36 c	1,49 b	1,61 ab	1,73 a
MO (%)	2,34 c	2,57 b	2,78 ab	2,98 a
C/N	13,00 a	13,00 a	14,56 a	14,11 a
pH	8,15 a	8,23 a	8,23 a	8,23 a

T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻². Medias con letras distintas entre tratamientos son significativamente diferentes (p<0,05)

Para la relación C/N, el modelo con efecto aleatorio de bloque, con errores correlacionados sin estructura y varianza homoscedástica, fue el que describió de mejor manera los datos (Figura 30). Para esta variable, no se halló interacción entre tiempo y tratamiento (Tabla 17), mostrando una trayectoria con tendencia decreciente. Se encontraron diferencias significativas en C/N al comparar las medias obtenidas de los cuatro tratamientos para cada ciclo productivo (Tabla 18). No se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos sin y con aplicación de compost, ni entre dosis de CCP (Tabla 19).

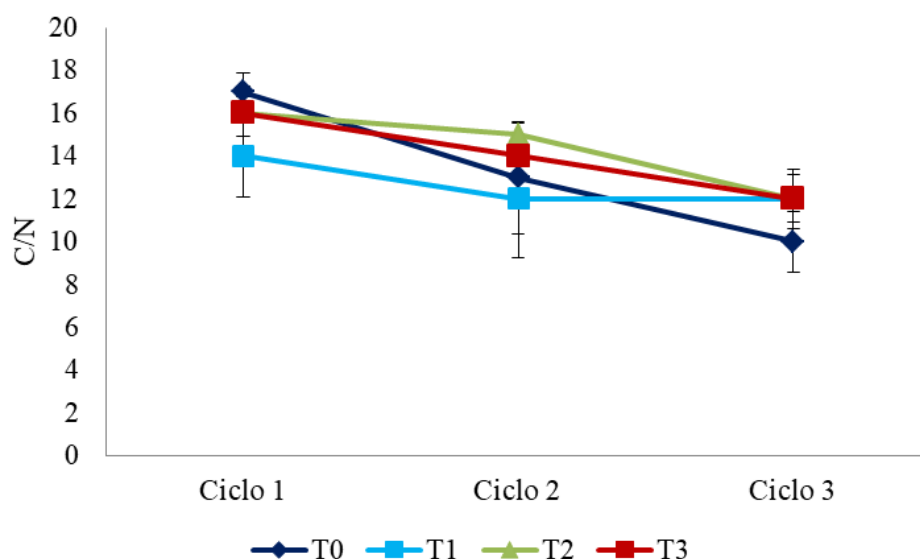


Figura 30. Relación entre la variable relación carbono-nitrógeno (C/N) y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

Para la variable pH, el modelo lineal que mejor ajustó los datos fue el que considera efecto aleatorio en bloque, estructura de errores independientes y varianza heteroscedástica (varIdent: función de varianza identidad). En la Figura 31, se presenta la relación entre el tiempo (ciclos), el pH y los tratamientos. No se halló interacción significativa entre tiempo y tratamientos (Tabla 17). Se hallaron diferencias estadísticas a través del tiempo, marcando una tendencia creciente a través de los ciclos de cultivos (Tabla 18), con una propensión a la alcalinización a partir del segundo ciclo para todos los tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos sin y con incorporación de las distintas dosis de CCP (Tabla 19).

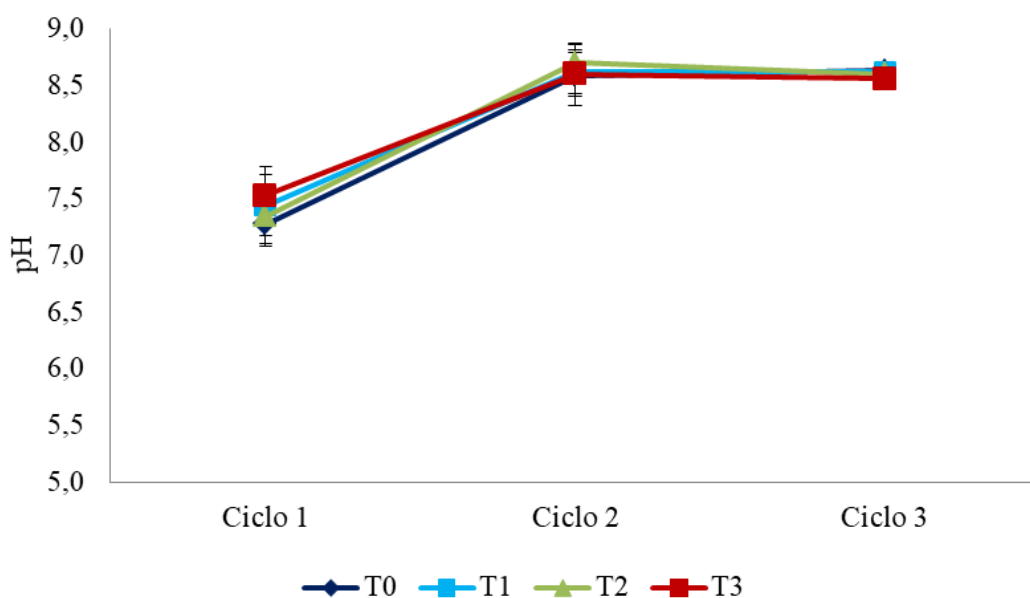


Figura 31. Relación entre la variable pH y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados. Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

Para nitrógeno, el modelo con efecto aleatorio de bloque, con errores correlacionados sin estructura y varianza homoscedástica, fue el que describió de mejor manera los datos (Figura 32). La interacción entre tratamiento y el tiempo fue significativa (Tabla 17).

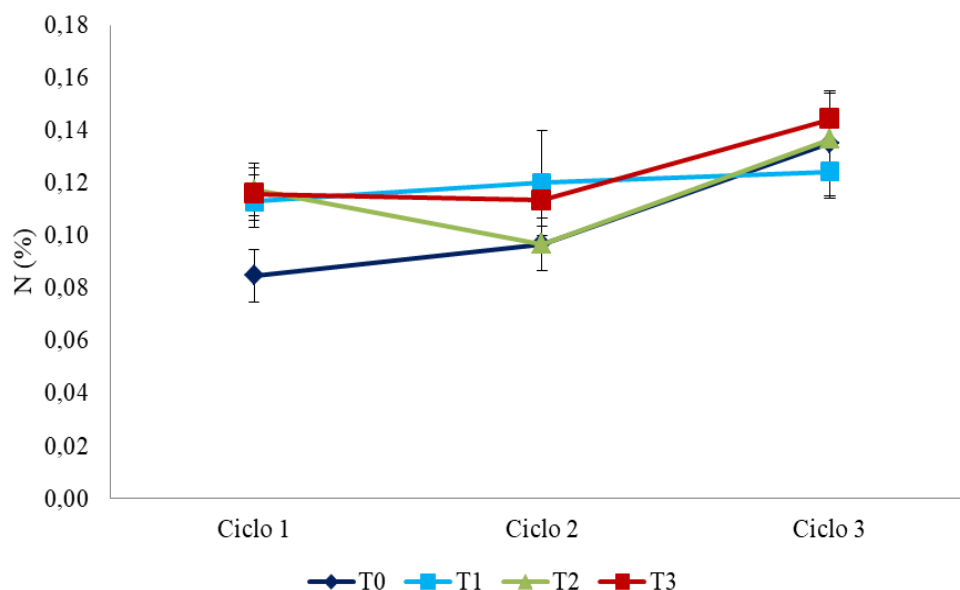


Figura 32. Relación entre la variable nitrógeno y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

Analizando los contrastes de interés para N, se observó que el tratamiento con mayor dosis de compost (T3) se diferenció del testigo (T0) a través de todas las fechas, presentando T3 mayores contenidos de N. En cambio las dosis intermedias (T1 y T2) se diferenciaron del testigo al principio pero no al final del período evaluado (Tabla 20).

Tabla 20. Comparaciones de contenidos medios de nitrógeno (N) para combinaciones de interés entre tratamientos y tiempos. Valores de probabilidad (p) obtenidos de las pruebas de hipótesis de los contrastes efectuados

Contrastes para N	p
T0 vs T3, tiempo 1, 2 y 3	0,0048
T0 vs T1 y T2, tiempo 1	< 0,0001
T0 vs T1 y T2, tiempo 3	0,5887

T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

El análisis de regresión lineal entre el N (%) hallado en el suelo en promedio de los tres ciclos y las dosis de CCP en toneladas por hectárea incorporadas en cada tratamiento, indican que la

variación de N en el suelo está explicada en un 86% por el aumento de la dosis de CCP (Figura 33).

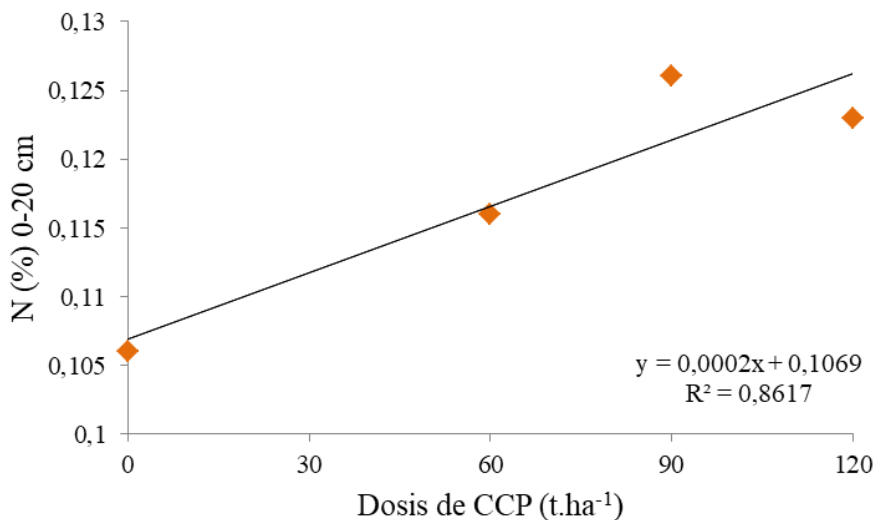


Figura 33. Regresión lineal entre la variable nitrógeno (N) y las dosis de CCP aplicadas
T0: sin aplicación de compost, T1: 60 t.ha⁻¹, T2: 90 t.ha⁻¹ y T3: 120 t.ha⁻¹

Durante el primer ciclo de lechuga se evaluó el contenido de nitrógeno de nitratos; la comparación de medias indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos, no obstante se observó que los valores aumentaron a medida que lo hace la dosis de CCP (Tabla 21). A su vez, se halló una elevada variabilidad de los datos con el aumento de compost incorporado.

Tabla 21. Valores de nitratos para cada tratamiento en el ciclo 1

Tratamiento	Nitratos (ppm)
T0	43,33 ± 0,58 a
T1	44,67 ± 9,02 a
T2	58,33 ± 11,7 a
T3	56,67 ± 20,21 a

Medias ± DE con letras distintas en cada ciclo son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

Para fósforo, el modelo con efecto aleatorio de bloque, estructura de errores con correlación de simetría compuesta y estructura de la varianza heteroscedástica (varIdent), fue el que

describió de mejor manera la distribución de los datos obtenidos en el experimento. En la Figura 34 se observa el efecto de la incorporación del CCP sobre esta variable a través del tiempo.

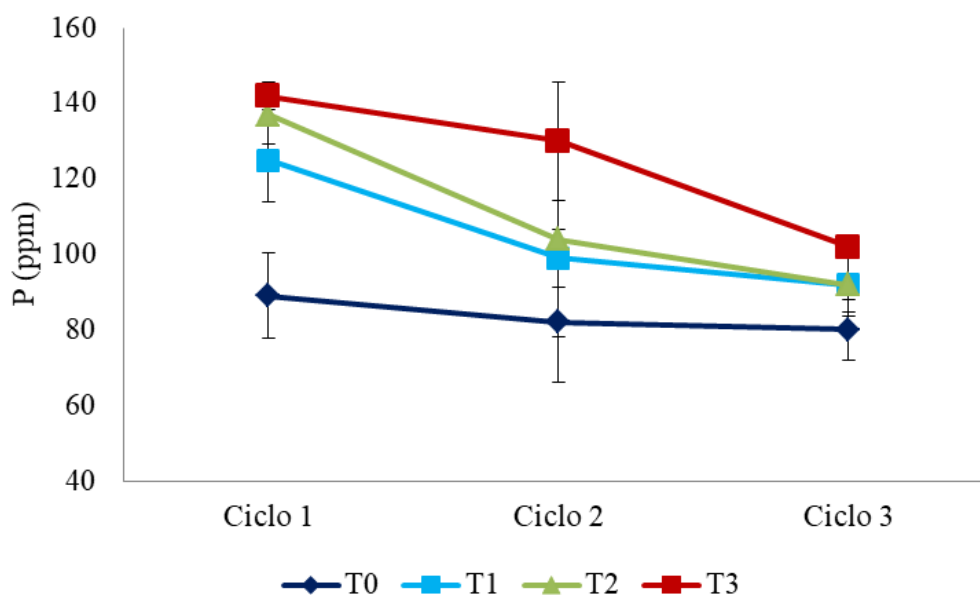


Figura 34. Relación entre la variable fósforo y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados
Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

Como indica la Tabla 17, se halló interacción significativa entre los tratamientos y el tiempo. Al realizar los contrastes para la comparación de medias de interés (Tabla 22), pudo observarse, una disminución en los valores a través de los ciclos productivos, con diferencias significativas entre el testigo sin aplicación de compost (T0) y el resto de los tratamientos, los que presentaron mayores valores en todas las fechas. A su vez, el T3 presentó mayores contenidos de P que T1 y T2, no hallándose diferencias entre estos dos últimos.

Tabla 22. Comparaciones de contenidos medios de fósforo (P) para combinaciones de interés entre tratamientos y tiempos. Valores de probabilidad (p) obtenidos de las pruebas de hipótesis de los contrastes efectuados

Contrastes para P	p
T0 vs Resto, tiempo 1, 2 y 3	< 0,0001
T1 vs T3, tiempo 1, 2 y 3	0,0003
T2 vs T3, tiempo 1, 2 y 3	0,0044
T1 vs T2, tiempo 1, 2 y 3	0,2687

T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

Durante el segundo ciclo de lechuga, se evaluó el contenido de sales mediante la variable conductividad eléctrica. No se hallaron diferencias estadísticas entre tratamientos en la comparación de medias, pero se observó que los valores aumentaron a medida que lo hace la dosis de agregado de CCP (Tabla 23).

Tabla 23. Valores de conductividad eléctrica (CE) para los distintos tratamientos en el ciclo 2

Tratamiento	CE (mS.cm ⁻¹)
T0	0,17 ± 0,04 a
T1	0,16 ± 0,05 a
T2	0,20 ± 0,05 a
T3	0,21 ± 0,04 a

Medias ± DE con letras distintas en cada ciclo son significativamente diferentes (p<0,05). T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

4.4. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre propiedades físicas del suelo

El análisis estadístico aplicando modelos lineales generales y mixtos con distintas estructuras de covarianza, consideró como efectos fijos tratamiento, tiempo y la interacción entre ambos. Los datos obtenidos en el experimento para la variable estabilidad estructural presentaron una distribución que se ajustó de mejor manera al modelo que consideró efecto aleatorio en bloque, estructura de errores independientes y estructura de la varianza heteroscedástica (VarIdent), Figura 35.

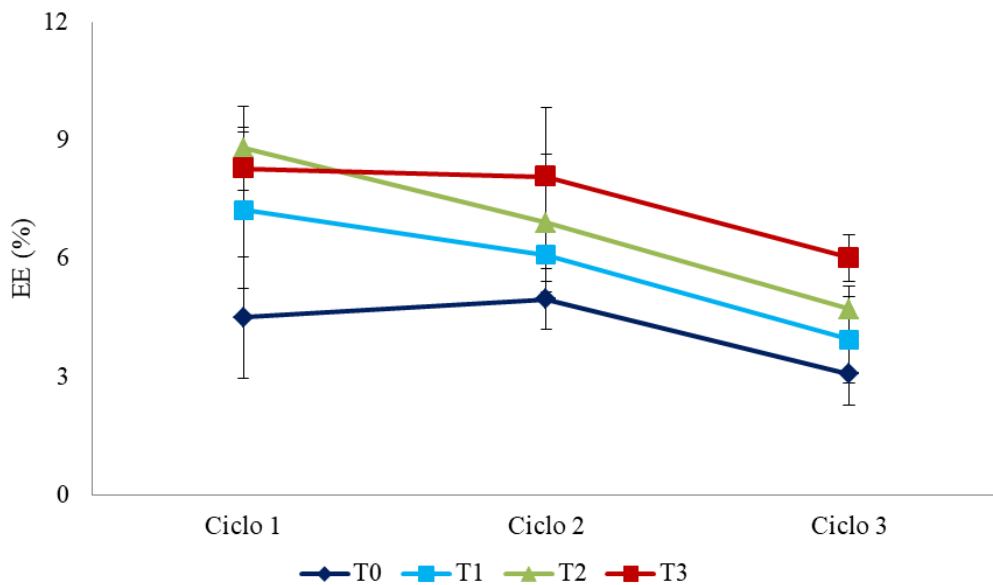


Figura 35. Relación entre la variable estabilidad estructural (EE) y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

La interacción entre tratamiento y tiempo no fue significativa, mientras que los efectos tratamiento y tiempo sí lo fueron (Tabla 24), por lo que se compararon las medias correspondientes. Se hallaron diferencias entre los tres tratamientos con agregado de CCP y el testigo sin compost. A su vez se diferenciaron los tratamientos T1 y T3, observándose una tendencia creciente de la EE en función de la dosis de compost: $T1 \leq T2 \leq T3$ (Tabla 25). En el último ciclo se hallaron menores valores promedio de EE respecto a los dos ciclos anteriores (Tabla 26). En este estudio, con la incorporación al suelo de 6, 9 y 12 kg.m⁻² de CCP se logró un aumento de 37, 60 y 75% en la EE respecto al testigo, aunque los valores máximos alcanzados se consideran bajos. Siguiendo el mismo protocolo de análisis de EE que para las muestras de suelo, se obtuvo un valor de estabilidad para el compost puro de $77 \pm 2,4\%$.

Tabla 24. Valores de probabilidad obtenidos de las pruebas de hipótesis para las variables estabilidad estructural (EE) determinada en el espesor 0-20 cm, densidad aparente (DA) y porosidad total (PT) determinadas en el espesor 5-10 cm y resistencia mecánica a la penetración (RP), espesores 0-10 cm y 10-20 cm. Efectos tratamientos, tiempo e interacción (tratamiento*tiempo)

Variable	Efecto		
	Tratamiento	Tiempo	Tratamiento * Tiempo
EE (%)	0,0001	0,0001	0,5444
DA (%)	0,0350	0,0005	0,4941
PT (%)	0,0351	0,0005	0,4978
RP 0-10 cm (MPa)	0,0265	0,0001	0,1491
RP 10-20 cm (MPa)	0,7218	0,0001	0,4128

Tabla 25. Medias obtenidas para las variables estabilidad estructural (EE) determinada en el espesor 0-20 cm, densidad aparente (DA) y porosidad total (PT) determinadas en el espesor 5-10 cm, y resistencia mecánica a la penetración (RP), espesores 0-10 cm y 10-20 cm, de los tres ciclos para cada tratamiento

Variable	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
EE (%)	4,25 c	5,83 b	6,81 ab	7,46 a
DA (g.cm ⁻³)	1,22 a	1,17 ab	1,16 b	1,14 b
PT (%)	53,8 a	55,9 ab	56,4 b	56,8 b
RP 0-10 cm (MPa)	0,43 a	0,37 b	0,36 b	0,34 b
RP 10-20 cm (MPa)	0,54 a	0,52 a	0,50 a	0,50 a

T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻². Medias con letras distintas entre tratamientos son significativamente diferentes (p<0,05)

Tabla 26. Medias obtenidas para las variables estabilidad estructural (EE) determinada en el espesor 0-20 cm, densidad aparente (DA) y porosidad total (PT) determinadas en el espesor 5-10 cm, y resistencia mecánica a la penetración (RP), espesores 0-10 cm y 10-20 cm para cada ciclo, promedio de los tratamientos

Variable	Tiempo		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
EE (%)	7,21 a	6,61 a	4,44b
DA (g.cm ⁻³)	1,13 b	1,15 b	1,24 a
PT (%)	57,2 a	56,6 a	53,4 b
RP 0-10 cm (MPa)	0,09 c	0,35 b	0,69 a
RP 10-20 cm (MPa)	0,30 c	0,43 b	0,82 a

Medias con letras distintas entre ciclos son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

El análisis de los datos de densidad aparente y porosidad total, al igual que los de estabilidad estructural, fueron descritos de mejor manera por el modelo que consideró efecto aleatorio en bloque, estructura de errores independientes y estructura de la varianza heteroscedástica (VarIdent), Figuras 36 y 37. Se halló que, para ambas variables, la interacción entre tratamiento y tiempo no fue significativa mientras que los efectos tratamiento y tiempo fueron significativos (Tabla 24), por lo que se compararon las medias correspondientes. Los dos tratamientos con mayor dosis de compost (T2 y T3) se diferenciaron de T0, el que presentó mayor DA. Por otra parte, no se halló diferencias entre los tres tratamientos con agregado de CCP (Tabla 25). En el último ciclo se hallaron mayores valores promedio de DA respecto a los dos ciclos anteriores (Tabla 26). La PT presenta una tendencia inversa a la DA, observándose un aumento de aproximadamente un 5%.

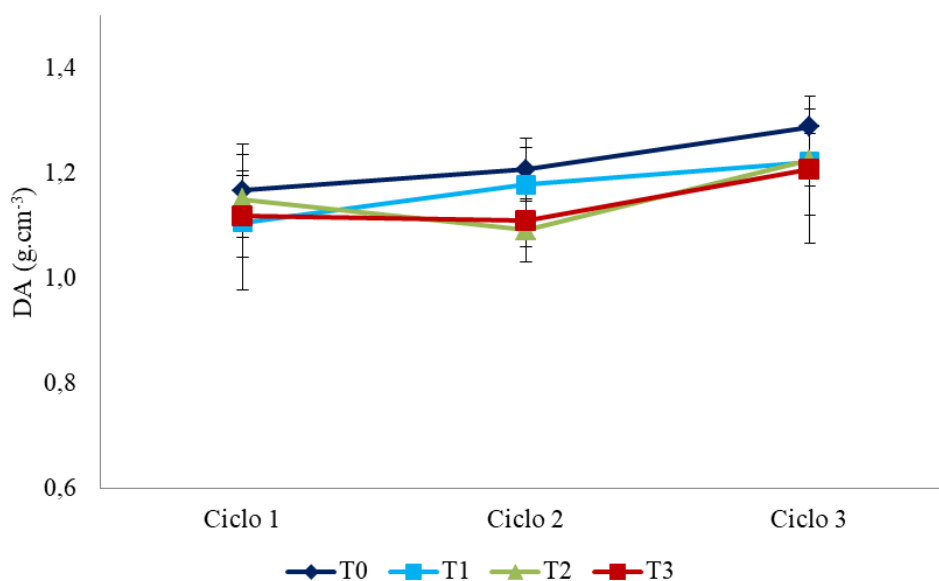


Figura 36. Relación entre la variable densidad aparente (DA) y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

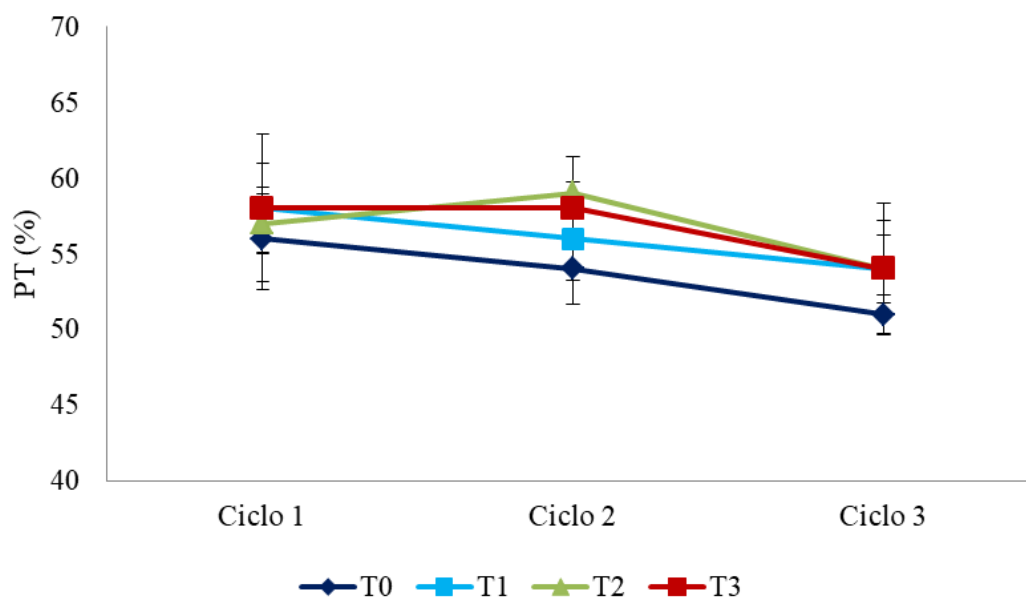


Figura 37. Relación entre la variable porosidad total (PT) y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados

Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

En la Figura 38, se muestra la relación entre la variación de la DA y la variación de los tenores de CO aplicados al suelo en los tratamientos T1, T2, T3, en el espesor de 0-20 cm. Puede observarse que dicha relación siguió una tendencia polinómica de segundo orden, indicando que el agregado de mayores dosis tendría una menor eficiencia en la mejora de la DA del suelo en el espesor 5-10 cm, aunque la mejora sea significativa.



Figura 38. Relación entre el carbono total (CO) aportado por el CCP en cada dosis y la disminución en la densidad aparente (DA) del suelo, para el espesor 0-20 cm

El análisis de la variable resistencia mecánica a la penetración en los espesores 0-10 y 10-20 cm, mostró que el modelo con efecto aleatorio en bloque y parcela dentro de bloque, estructura de errores autoregresiva de orden 1 y varianza homoscedástica fue el que describió de mejor manera la distribución de los datos obtenidos. Las Figuras 39 y 40 muestran la relación entre el tiempo (ciclos) y la RP correspondiente a los espesores 0-10 y 10-20 cm del suelo. Se observa un aumento de la resistencia a lo largo de los ciclos de lechuga en ambos espesores. La interacción entre tratamiento y tiempo no fue significativa (Tabla 24), mientras que el efecto tratamiento fue significativo para el espesor 0-10 cm, diferenciándose T0 de los tres tratamientos con CCP, presentando mayores valores promedio (Tabla 25). El efecto tiempo fue significativo tanto para el espesor 0-10 como para el espesor 10-20 cm, con un claro aumento de la RP de ciclo en ciclo, para ambos estratos (Tabla 26).

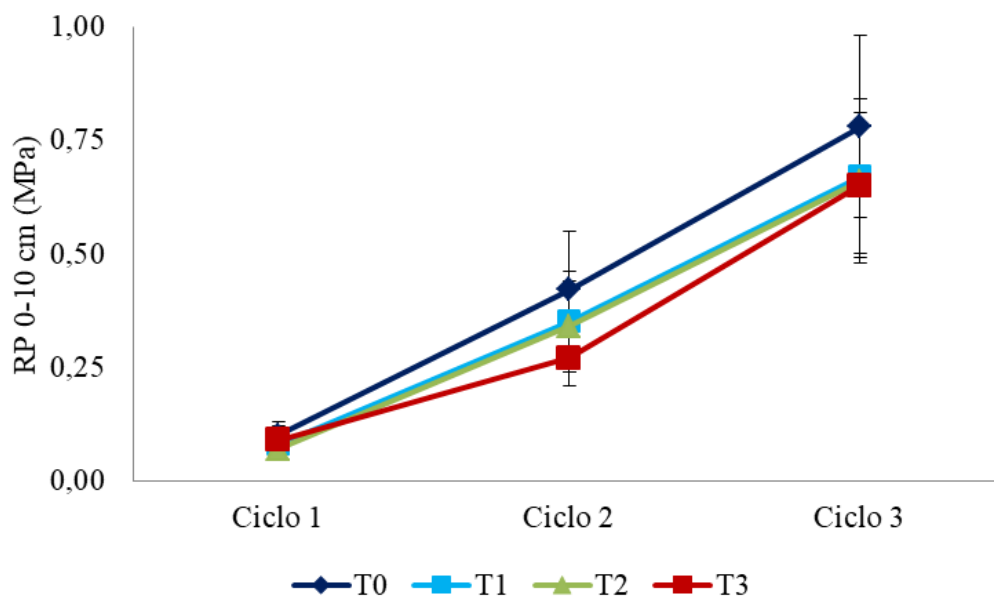


Figura 39. Relación entre la variable resistencia a la penetración (RP) correspondiente al espesor 0-10 cm y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados
 Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

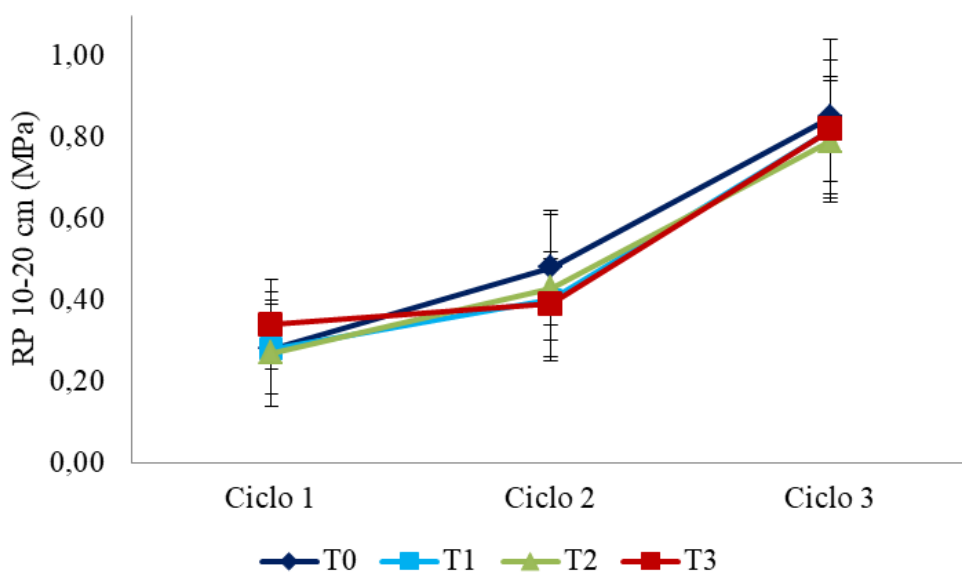


Figura 40. Relación entre la variable resistencia a la penetración (RP) correspondiente al espesor 10-20 cm y tiempo (ciclos) para los tratamientos evaluados
 Las barras indican el DE. T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

Los valores de infiltración hallados durante el ensayo presentaron una alta variabilidad, por lo que no se procedió a realizar el análisis estadístico previsto. En la tabla 27 se muestran medidas resumen de los datos para cada ciclo de lechuga luego de descartar los valores más extremos en cada uno de los tiempos (valores mayores de 2.500 mm para el ciclo 1 y valores mayores de 1.000 mm para el ciclo 2 y 3). Si bien las tasas de infiltración observadas no son limitantes, se puede observar una importante disminución de sus valores a lo largo del tiempo, siendo un 65% menor entre el primer y segundo ciclo y 81% entre el primero y el tercero.

Tabla 27. Medidas resumen obtenidas para la variable infiltración (I) para cada ciclo

Ciclo	n	Infiltración (mm.h ⁻¹)	DE	CV	Mín.	Máx.
1	27	1.484	605	41	381	2.500
2	28	513	295	58	90	989
3	43	276	229	83	27	928

En la Tabla 28 se puede observar las medidas resumen obtenidos para cada tratamiento durante el tercer ciclo, pudiéndose evidenciar los elevados valores promedio de infiltración.

Tabla 28. Medidas resumen obtenidas para la variable infiltración (I) en el ciclo 3

Ciclo	n	Infiltración (mm.h ⁻¹)	D.E.	CV	Mín.	Máx.
T0	11	296	258	87	27	720
T1	11	166	129	77	62	459
T2	11	415	273	66	55	928
T3	10	223	167	75	69	570

T0: sin aplicación de compost, T1: 6 kg.m⁻², T2: 9 kg.m⁻² y T3: 12 kg.m⁻²

5. DISCUSIÓN

5.1. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina en parámetros productivos y de calidad en lechuga

El rendimiento de un cultivo está estrechamente ligado a la capacidad de acumular biomasa en los órganos que se destinan a cosecha, por lo que un incremento en biomasa, estimada tanto en peso fresco como en seco, produce un aumento proporcional del mismo (Peil et al., 2005). Como referencia de los valores de producción, y de acuerdo al censo 2012 (Grasso et al., 2013), los productores del Cinturón Hortícola de Rosario obtendrían rendimientos promedio de $0,80 \text{ kg.m}^{-2}$. El RPF del tratamiento sin incorporación de CCP (T0) fue superior a este valor, como promedio de los tres ciclos de cultivo ($1,35 \text{ kg.m}^{-2} \pm 0,24$), pero estuvo por debajo de los reportados por Grasso et al. (2018), quienes determinaron rendimientos a campo de $1,57 \text{ kg.m}^{-2}$ en un estudio realizado en el mismo sitio experimental, lo que indica que las condiciones para el crecimiento de lechuga en el sistema podrían ser limitantes. Los rendimientos de lechuga con la dosis máxima de CCP (T3) superaron, en el primer y segundo ciclo ($1,84 \text{ kg.m}^{-2}$ y $2,09 \text{ kg.m}^{-2}$), los hallados por los autores mencionados bajo sistemas de producción semiforzados con media sombra y manta flotante ($1,63 \text{ kg.m}^{-2}$ y $1,63 \text{ kg.m}^{-2}$ respectivamente), y se aproximaron a los hallados en sistemas forzados en invernadero ($2,30 \text{ kg.m}^{-2}$). Esto evidencia, que la incorporación de CCP en altas dosis, podría generar condiciones a campo muy adecuadas para el crecimiento de lechuga, equiparando a los sistemas de producción más intensivos, donde el ambiente de producción es controlado.

La incorporación al suelo de CCP en su mayor dosis (T3), produjo un incremento del RPF de lechuga de un 29 y 37% respecto al testigo sin aplicación (T0) en los dos primeros ciclos de cultivo respectivamente. Es posible que parte de estos resultados, sean debido a los aumentos significativos hallados en los niveles de materia orgánica y nitrógeno. El incremento de rendimiento en fresco también fue observado por Comese et al. (2009) en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*), y por Rotondo et al. (2009) y Paterlini et al. (2019) en el cultivo de lechuga crespa, al incorporar al suelo compost orgánicos de distintos orígenes. Estos autores, relacionan el aumento del peso fresco de las hortalizas nombradas anteriormente, al incremento de los valores de micro y macronutrientes como así también al aporte de materia orgánica generados por la adición de compost al suelo. En esta tesis no se evaluaron micronutrientes, por lo que no se puede concluir respecto a esta relación en particular.

El nitrógeno es un parámetro de gran importancia para el desarrollo del cultivo. A pesar de que no se cuantificaron las distintas formas nitrogenadas presentes en el CCP, autores como Saavedra et al. (2017) y Lamelas et al. (2019), estiman que habría un 50% del nitrógeno total presente en el compost que estaría disponible para el cultivo en el término de un año. En base a lo expresado por estos autores, la disponibilidad anual de N para las dosis de CCP aplicadas en T1, T2 y T3, sería de 42, 62 y 84 kg.ha⁻¹ respectivamente. Este aporte de N puede considerarse significativo ya que se comprobó que puede cubrir la demanda del cultivo. Este hallazgo surge de comparar la dotación de N para los ciclos 2 y 3, como sumatoria del contenidos de nitratos y del N edáfico mineralizado a una tasa de 0,03 anual, con los requerimientos del cultivo, considerando una demanda de 2,7 kg de N (Ferrato et al., 2010) por tonelada de lechuga fresca. La oferta de N calculada de esta forma correspondería a 87, 103 y 98 kg.ha⁻¹, satisfaciendo los requerimientos de 76, 83 y 86 kg.ha⁻¹ para ambos ciclos en T1, T2 y T3 respectivamente.

El efecto del agregado de compost sobre las propiedades de suelo y variables productivas puede modificarse a lo largo del tiempo. Marchesini et al. (1988) reportaron aumentos significativos de rendimiento en girasol (*Helianthus annuus* L.) al utilizar dosis crecientes (10, 20 y 30 t.ha⁻¹) de compost orgánico a base de desechos de hortalizas y contenido ruminal bovino con respecto a un testigo sin aplicación. Observaron, tras cinco años de investigación, que el efecto sobre el rendimiento fue disminuyendo con el tiempo, atribuyéndolo a la progresiva reducción de los componentes involucrados en la fertilidad del suelo, tales como el contenido de carbono orgánico, de materia orgánica, de nitrógeno, de fósforo y de potasio, junto con la actividad microbiana, que mantuvieron diferencias respecto al testigo, pero decrecientes en el tiempo. Debido a que las enmiendas orgánicas (compost y estiércoles) producen una liberación lenta de sus nutrientes es difícil identificar el momento en que éstos estarán disponibles para el cultivo, pero si se adicionan en forma continua, el sistema y el aporte nutricional tiende a estabilizarse (Saavedra et al., 2017). Coincidiendo con lo expuesto con Marchesini et al. (1988) y Saavedra et al., (2017) en próximas investigaciones, sería de interés, evaluar el efecto del CCP a lo largo del tiempo como así también en aplicaciones periódicas.

En relación al efecto residual del agregado de compost, en el Anexo III, se muestran los valores de elementos trazas o elementos potencialmente tóxicos que podrían acumularse tras aplicaciones periódicas de CCP en diez años, a partir de características similares a las del

compost utilizado en este estudio. Si se comparan estos resultados con la carga máxima admitida en 10 años (Resolución SENASA 1-2019), se puede observar que para cadmio, cobre, cromo y mercurio, no se debería realizar la aplicación de la dosis de CCP más elevada (T3) todos los años, para no superar los límites que establece la legislación vigente. Con el compromiso de generar el menor impacto negativo en el ambiente, sería recomendable contar con los valores de elementos trazas presentes en el suelo antes de aplicar el compost, y así poder estimar las cargas anuales y acumuladas con mayor precisión.

La respuesta del RPF del cultivo de lechuga frente a dosis crecientes de CCP fue lineal, lo que podría significar que con dosis mayores a las utilizadas en esta tesis se podría alcanzar el rendimiento máximo de producción de lechuga bajo el sistema de producción hortícola a campo. Una relación similar fue hallada por Vidigal et al. (2010) evaluando la productividad del cultivo de cebolla (*Allium cepa*) frente a dosis crecientes de compost de desechos sólidos de cerdos (0, 10, 20, 30 y 60 t.ha⁻¹). Los autores pudieron establecer un techo de producción bajo las condiciones del experimento con una dosis estimada de 43,8 t.ha⁻¹, y un techo de producción de materia seca con una dosis de 46 t.ha⁻¹. Debería estudiarse a futuro este tipo de relaciones con el CCP, teniendo en cuenta el monitoreo continuo de los parámetros edáficos para evitar problemas ambientales. Como se mencionó anteriormente, se halló un ajuste lineal entre la variable RPF y dosis de CCP, siendo los R² de 0,28 y 0,40 para los ciclos 1 y 2 respectivamente. Si bien estos valores normalmente se consideran bajos, para el rendimiento no lo son, ya que es una variable respuesta que se encuentra afectada por múltiples factores. La relación entre el agregado de compost y las variables productivas de los cultivos es compleja y, en muchos casos, las diferencias en rendimiento no alcanzan a ser explicadas a través del efecto sobre las variables edáficas físicas y físico-químicas, como se verá más adelante, indicando que deberían estudiarse aspectos relacionados a la actividad biológica así como a promotores de crecimiento vegetal. McAndrews et al. (2006), sostienen este argumento debido a que no pudieron explicar, a través del estudio de variables edáficas, aumentos de rendimiento, altura, diámetro y AF en soja (*Glycine max* L.) al aplicar compost de cama profunda porcina.

Un aspecto que define la producción de biomasa en los cultivos es la condición ambiental, influenciada por factores como la temperatura, precipitaciones, humedad relativa y radiación solar entre otras, que dependen de la estacionalidad del año. Se puede observar que los RPF de lechuga en todos los tratamientos en el segundo ciclo fueron superiores a los alcanzados en

los ciclos 1 y 3. Esto podría deberse a que se desarrolló en una época del año, la primaveral, en la cual ocurrieron condiciones de temperaturas y radiación favorables para la especie estudiada. Según Gardner et al. (1985), en regiones templadas, los niveles de temperatura y radiación son las principales variables ambientales que influyen en la estación de crecimiento; el desarrollo del cultivo en períodos de alta energía solar produce una elevada intercepción de la misma, lo que se encuentra correlacionada con la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) permitiendo que se produzcan mayores rendimientos potenciales. De Grazia et al. (2001) realizaron un estudio cuyo objetivo fue relacionar el efecto de la radiación, la temperatura y la nutrición nitrogenada con el crecimiento de lechuga cultivada en dos épocas, una invernal y otra primaveral. Los autores reportaron diferencias significativas en el peso fresco de lechuga en ambas épocas, a favor de una mayor disponibilidad de nitrógeno, produciendo un incremento de la tasa de crecimiento relativa (TCR) y favoreciendo el desarrollo de la estructura foliar. A su vez, hallaron que dicha tasa, fue menor en invierno que en primavera, ocasionando que el peso fresco de las plantas a cosecha fuera un 32,8% inferior, demorando más tiempo en llegar al tamaño comercializable. Los autores adjudican esos resultados a la menor radiación y temperatura observadas en época invernal coincidiendo con lo mencionado por Gardner et al. (1985). Quintero Arias (2015) halló que la respuesta del cultivo de lechuga ante cambios de las condiciones climáticas obedece principalmente a una relación entre la radiación térmica y la lumínica. En esta tesis, a pesar que no se midió la TCR, se puede deducir que el incremento de la misma ocurrido durante el segundo ciclo de cultivo, provocó que disminuyera el período de trasplante a cosecha en 26 días con respecto al primer ciclo. Esta respuesta es similar a los resultados obtenidos por los autores mencionados anteriormente. En relación a las condiciones de temperatura, la suma térmica estimada como las unidades de calor o grados días acumulados necesarios para que el cultivo complete su ciclo, puede explicar algunas diferencias halladas en la duración de este período. Para el cálculo de este parámetro se utilizaron las temperaturas medias ocurridas en los ciclos productivos y se tomó como temperatura mínima basal para lechuga, 3 °C (Dapigny et al. 1997). Los resultados de este cálculo demuestran que la suma térmica acumulada fue de 718, 854 y 974 °C en un período de 75, 49 y 58 días desde el trasplante a la cosecha (sin considerar ambos días en el cálculo) para los ciclos 1, 2 y 3 respectivamente. Comparando el primer ciclo con condiciones otoño-invernales, con el segundo, se puede observar que en este último se acumuló mayor cantidad de °C días en menor tiempo debido a la ocurrencia de

temperaturas medias más elevadas. Esta mayor acumulación de temperatura efectiva en menor tiempo, también fue observada por Salusso et al. (2017), al recrear condiciones de mayor temperatura protegiendo a un cultivo de lechuga mantecosa con manta térmica. Los autores reportaron una acumulación 23% superior en comparación con el testigo sin protección. Tanto en esta tesis como en la investigación de los autores mencionados anteriormente, se observó una aceleración del ciclo biológico, que se tradujo en mayor precocidad a cosecha, lo que posiblemente generó una mayor tasa de crecimiento del cultivo. En el tercer ciclo, desarrollado durante el otoño, se observó una reducción no tan marcada del período productivo, siendo de 17 días con respecto al primero, lo que puede atribuirse a que en las etapas iniciales de cultivo sucedieron condiciones favorables para el crecimiento de la lechuga, pero en las etapas finales donde se produce la mayor producción de biomasa, se produjeron condiciones de menor radiación y temperatura, propias de la estación otoñal que alargaron su ciclo. En este estudio, se observó que los rendimientos expresados en peso fresco disminuyeron notablemente en el tercer ciclo de producción, y que si bien T3 presentó los mayores valores, no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Estos resultados, podrían deberse a la ocurrencia de condiciones ambientales desfavorables desarrolladas durante el período de máximo crecimiento de las lechugas. Específicamente, hubo un período de 12 días consecutivos, desde el 29 de abril al 10 de mayo de 2019 (Anexo 1), con abundantes precipitaciones, acumulando 127 milímetros. Se pudo observar a campo un exceso de agua en el perfil, condiciones que pudieron afectar negativamente el crecimiento de lechuga, lo que podría explicar, en parte, los resultados mencionados anteriormente. En situaciones de anegamiento, la disminución de oxígeno en la rizósfera, dificulta el proceso respiratorio de las plantas, se favorecen los procesos de reducción de sales manifestándose síntomas de carencias de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, magnesio y calcio entre otros; a la vez, se propicia la formación de etileno y compuestos fenólicos que pueden actuar como depresores del crecimiento. Asimismo se inhibe la síntesis y translocación de hormonas (como citoquininas y giberelinas) pudiendo inducir a la senescencia de las hojas y la proliferación de enfermedades tanto bacterianas como criptogámicas (Maroto, 2000). Estos procesos pudieron ocurrir durante el tercer ciclo y ser influyentes en la disminución del rendimiento con respecto a los otros dos ciclos. Otra causa que podría explicar estos resultados, es la posible pérdida del efecto del compost a través del

tiempo, ya que para la fecha de cosecha del tercer ciclo (17 de mayo de 2018) transcurrió un año desde la incorporación del CCP en las platabandas (18 de mayo de 2017).

El número de hojas por planta, es una variable frecuentemente utilizada para evaluar el desarrollo vegetativo de plantas de lechuga (Fernandez et al., 2006). En este estudio, los resultados varían entre tratamientos y entre ciclos. Se encontró un 5% y 12% de aumento en el NH en el tratamiento con la mayor dosis de aplicación de compost (T3) con respecto al testigo (T0) en los ciclos 1 y 2, con diferencias significativas solo en el segundo. Mientras que en el tercer ciclo se observaron diferencias estadísticas entre el testigo (T0) y la dosis media de compost (T2) con un aumento de 14% a favor de T0. El incremento ocurrido en los dos primeros ciclos al adicionar compost orgánico, y el NH promedio de los tres ciclos para los tratamientos T0, T1, T2 y T3 hallado en esta tesis (18,4; 18,3; 19,0 y 19,3), fue similar al observado por otros investigadores. Paterlini et al. (2019) observaron que la incorporación de compost de cama de pollo al suelo, aumentó significativamente esta variable de crecimiento, de 16 a 21 hojas para los tratamientos sin y con aplicación de compost. Los investigadores observaron que aumenta significativamente el NH con aplicación de compost, al constituirse fuente de nutrientes para satisfacer la mayor demanda del cultivo y lograr mayor producción de hojas. Kortei y Quansah (2016) hallaron aumentos significativos en el número de hojas y área foliar del cultivo de lechuga en macetas con mezclas de 75% de suelo y 25% de compost orgánico, comparados con mezclas de suelo y fertilizantes inorgánicos, y el testigo sin aplicación. Los autores, reportaron que el NH y AF, variables utilizadas como medidas de crecimiento, fueron mayores debido principalmente a la riqueza nutricional aportada por el compost. El suministro subóptimo de nutrientes a las plantas, podría afectar negativamente a la tasa de crecimiento de las hojas por inhibición de la tasa de producción y expansión de hojas nuevas (Neumann, 1997 cito en Carranza *et al.*, 2009). En esta tesis, la mayor producción de hojas en los tratamientos con CCP, en los dos primeros ciclos, podría atribuirse a las características nutricionales aportadas por el compost, coincidiendo con lo reportado por Kortei y Quansah (2016) y Paterlini et al. (2019). A su vez, esta respuesta podría estar influenciada positivamente por la mejora de las propiedades físicas del suelo, como algunas observadas en esta tesis, aumentando la actividad fisiológica de las hortalizas y en consecuencia la síntesis de fotoasimilados (Aliyu, 2000). El mayor número de hojas observado en el ciclo 2 (primaveral), con respecto a los ciclos 1 y 3 (otoño-invernal y otoñal respectivamente), puede atribuirse al aumento de las temperaturas y de los niveles de

radiación solar que ocurrieron durante ese ciclo, lo que podría haber favorecido la tasa de aparición de hojas en el cultivo de lechuga.

El área foliar es una variable que se tiene en cuenta en la mayoría de los estudios fisiológicos y agronómicos, debido a que se relaciona directamente, con la eficiencia fotosintética (Blanco et al., 2005, cito en Goñi et al., 2013). En este estudio se observó un incremento del 18% y 16% entre el tratamiento con la dosis máxima de compost (T3) y el testigo sin aplicación (T0) en los ciclos 1 y 2 respectivamente, no hallándose diferencias en el ciclo 3. Este aumento podría ser explicado por las mejores condiciones nutricionales generadas por el CCP. De Grazia et al. (2001) demostraron que la nutrición nitrogenada es altamente influyente en el desarrollo del AF del cultivo de lechuga crespa. A la vez, la energía solar absorbida (radiación) y la eficiencia de utilización de esa energía son factores de gran importancia que afectan a la biomasa total producida por el cultivo. Para que la eficiencia del cultivo sea mayor, es necesario que gran parte de la radiación sea absorbida por los tejidos fotosintéticos. Las hojas, son los principales órganos responsables de la intercepción de la luz y de realizar el proceso de fotosíntesis. A medida que el AF aumenta, la radiación interceptada por las hojas se incrementa, resultando en una mayor acumulación neta de dióxido de carbono durante el ciclo del cultivo y un aumento de la biomasa total a cosecha (Gardner et al., 1985). Por lo discutido anteriormente, es de esperar que un aumento en el número de hojas por planta y del área foliar de las mismas, produzca un incremento en el rendimiento del cultivo de lechuga.

El índice de color observado en las hojas de lechuga, fue afectado por la incorporación de CCP al suelo donde fueron cultivadas. Los sistemas de producción, basados en distintos manejos agronómicos, pueden afectar la composición y calidad de las hortalizas cosechadas (Chiesa, 2010; Ferratto et al., 2010; Agüero, 2011; Crisosto y Mitchell, 2011; Grasso et al., 2018). La calidad de los productos ofrecidos a los consumidores es de gran importancia, pudiéndose dividir a grandes rasgos en interna, como por ejemplo inocuidad, valor nutricional, sabor, textura, y externa con aspectos reconocibles a simple vista como ser defectos, estado de madurez, uniformidad, forma y color entre otros. Entre los parámetros de calidad externa, el color es particularmente importante, debido a que es la primer característica que los consumidores registran para la aceptación de una hortaliza (Allende et al., 2004). En lechugas, el color verde, es el principal atributo de calidad al momento de ser elegidas por el consumidor (León et al., 2007; Rico et al., 2007). Las hortalizas de color verde

oscuro, contienen altos niveles de carotenoides que puede seleccionarse visualmente debido a una fuerte correlación entre ellos y al contenido de clorofila.

Existen diferentes métodos y escalas para caracterizar el color de las hortalizas. En este estudio se utilizó sistema color CIELab (Westland, 2001), que considera los parámetros L*: representa la luminosidad del color y corresponde a la variación del blanco al negro, a*: variación entre el rojo (a⁺) y el verde (a⁻), y b*: variación entre el color amarillo (b⁺) y el azul (b⁻). En esta investigación se midió el parámetro IC*, ya que es una medida válida para cuantificar el color de las plantas de lechuga, relacionando los parámetros individuales L*, a* y b* siendo su resultado de sencilla interpretación.

Se hallaron diferencias estadísticas entre tratamientos, diferenciándose T3 de T0 y T1 en el primer ciclo de cultivo y T3 de T0 en el segundo. Las lechugas cultivadas con la dosis más alta de incorporación de compost presentaron los valores más bajos de IC*: -12,0; -11,5 y -11,1 para los ciclos 1, 2 y 3 respectivamente; las producidas sin incorporación, presentaron los valores más altos: -11,7; -11,2 y -10,9 para los ciclos mencionados anteriormente. Considerando la escala utilizada por Vignoni et al. (2006), Goñi et al. (2010) y Grasso et al. (2018), el rango -20 a -2 se relaciona con los colores que van del verde profundo al verde amarillento, por lo que las lechugas con incorporación de CCP al suelo, presentaron una coloración verde más intensa (menor valor de IC*) que las lechugas sin aplicación. Goñi et al. (2013), encontraron que lechugas producidas bajo invernadero eran de color más uniforme y con un tono verde más fuerte que las producidas a campo abierto, debido, posiblemente, a que la producción bajo forzado optimiza las condiciones productivas para las hortalizas. La mayor intensidad en la coloración, se debe principalmente al elevado contenido de pigmentos de clorofila presentes en las hojas, utilizados por la planta para captar la luz solar (Agüero, 2011); León et al. (2007) hallaron un buen ajuste en una regresión lineal (R^2 : 0,85) entre el contenido de clorofila foliar en lechuga mantecosa y los colores que van del verde al amarillo. Mejores condiciones productivas podrían favorecer dicho contenido. En este estudio, es posible que la incorporación de altas dosis de CCP, produzcan condiciones más adecuadas para el desarrollo de la lechuga (aumento de carbono, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, estabilidad estructural, porosidad, disminución de la densidad aparente entre otros) favoreciendo la producción de clorofila que es el principal compuesto que le otorga el color verde a los tejidos. La coloración más verde observada en hojas de lechuga producidas con la máxima dosis de CCP durante el segundo ciclo, pudo llegar a ser percibida por algunos

participantes al realizar el análisis sensorial mencionando, como comentarios libres, donde las hojas de lechuga provenientes de T3 presentaron un color intenso dentro del atributo aspecto global.

Los valores de materia seca aérea promedio de los tratamientos hallados en esta investigación, 8,3%; 7,0% y 4,5% para los ciclos 1, 2 y 3 respectivamente, estuvieron dentro del rango reportado por Raigón et al. (2012) para 19 variedades de lechuga, observando valores mínimos de 3,4%, medios de 5,2% y máximos de 8.8%. También fueron similares al de otros autores que investigaron el efecto que ejercen distintos compost orgánicos sobre la MS (%) de la lechuga. Sánchez et al. (2012), observaron un rango de MS de 8,1% y 8,7% para lechuga crepsa abonada con 1 y 2 kg.m⁻² de estiércol vacuno respectivamente. Turazi et al. (2006) hallaron valores de 4,2% y 5,2% de MS en cultivos de lechuga abonadas con cama de pollo y estiércol bovino respectivamente. Comparando la MS (%) hallada en esta tesis con el rango reportado por Raigón et al. (2012), se puede decir que los valores medios de MS (%) hallados en el ciclo 1 y 2 son elevados y los observados en el ciclo 3 son bajos a medios. Las condiciones ambientales adversas mencionadas anteriormente ocurridas en el último período productivo del ciclo 3, pudieron tener un efecto negativo en el desarrollo final del cultivo, disminuyendo por consiguiente el porcentaje de MS con respecto a los dos primeros ciclos.

El porcentaje de MS tanto de la parte aérea como radical en lechuga, solo mostró diferencias estadísticas en el segundo ciclo, disminuyendo levemente a medida que fueron aumentando las dosis de CCP. Esto podría deberse a mejores condiciones productivas, como por ejemplo nutricionales, donde el incremento en la dotación nitrogenada produce una mayor tasa de crecimiento relativo y una disminución en el porcentaje de MS, comportamiento observado por Tittonell et al. (2000) y De Grazia (2001) en lechuga de variedades similares a este estudio.

La distribución de la biomasa seca entre los diferentes tejidos de los vegetales, es el resultado de un conjunto de procesos metabólicos responsables de la repartición de asimilados desde la fuente al destino (Peil y Gálvez, 2005; Barrientos Llanos et al., 2015). En este estudio, la relación entre peso seco radical y peso seco aéreo, no fue significativamente diferente entre tratamientos dentro de cada ciclo. No obstante, se observó una relación mayor en el ciclo 2 (1,81) respecto a los ciclos 1 y 2 (1,42 y 1,53 respectivamente). La distribución de la MS entre la parte radical y aérea, depende de un equilibrio funcional entre la absorción de nutrientes y agua, generado por las raíces, y el proceso de fotosíntesis llevado a cabo por la parte aérea.

Las diferentes condiciones productivas pueden generar fácilmente cambios en esta relación (Barrientos Llanos et al., 2015). Por ejemplo la disminución de la disponibilidad hídrica y nutricional, como así también el aumento de la intensidad lumínica, generan en los vegetales una mayor distribución proporcional de materia seca a las raíces (Peil y Gálvez, 2005). Lo mencionado anteriormente podría explicar la causa del incremento de la relación raíz-parte aérea hallada en el segundo ciclo, ya que durante este período, pudieron ocurrir las condiciones mencionadas anteriormente.

Con respecto al rendimiento expresado en peso seco del cultivo, los resultados demuestran una tendencia similar a la hallada para RPF. En los tres ciclos productivos se observaron diferencias significativas entre tratamientos. El incremento del RPS por unidad de superficie ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) entre el testigo y la máxima dosis de aplicación de CCP, fue de 18%, 26% y 2% para los ciclos 1, 2 y 3 respectivamente. En cultivos no hortícolas, Pegoraro et al., (2019) hallaron incrementos del rendimiento en maíz (*Zea maíz*), y Giacomini y Aita (2008) en soja (*Gycine max* L.), al incorporar CCP. Como se dijo anteriormente, el rendimiento, es el resultado de la acumulación de materia seca en el tiempo, donde la producción final de biomasa depende de la eficiencia con que el cultivo haya interceptado y utilizado la radiación solar durante el ciclo productivo. El agregado de nutrientes puede incrementar la TCC como así también la eficiencia fotosintética (Gardner et al., 1985). En esta tesis, es de esperar que las mejores condiciones productivas edáficas generadas por las máximas dosis de CCP, hayan tenido un efecto positivo en la TCC, alcanzando mayor acumulación de materia seca aérea a pesar de que el contenido hídrico de los tejidos del cultivo haya sido levemente superior.

El RPS de un cultivo es indicador de la capacidad que tiene una hortaliza para transformar los fotoasimilados en estructuras vegetales (Barrientos Llanos et al., 2015). Si bien la lechuga se comercializa de acuerdo a su peso fresco, estos hallazgos en el rendimiento de MS relacionados con la incorporación de CCP podrían ser de utilidad para otras hortalizas de hojas que tengan como destino final a la industria para deshidratado, como por ejemplo el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.), acelga (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*) y perejil (*Petroselinum crispum*).

El correcto manejo de un cultivo hortícola es crucial a la hora de generar biomasa, actuando directamente en la translocación de asimilados, en especial hacia los órganos que se pretenden cosechar (Barrientos Llanos et al., 2015). El aprovechamiento y valoración agronómica de los residuos porcinos provenientes de los túneles de viento, es una alternativa viable que favorece

a la mayoría de las variables productivas investigadas en esta tesis, desencadenando en general, un aumento en la acumulación de biomasa del cultivo de lechuga.

5.2. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina en parámetros de calidad organolépticos

“La calidad sensorial de un alimento es el conjunto de sensaciones experimentadas por una persona cuando lo ingiere. Está asociada a atributos como el color, el sabor, el aroma y la textura, los cuales son percibidos por el consumidor y en muchos casos determinan su elección” (Picallo y Grigioni, 1999). “Este análisis constituye una herramienta importante, ya que puede determinar si un producto va a tener una buena aceptación por los consumidores” (Toledo, 2009). En relación a los resultados obtenidos, se observó la preferencia de los panelistas por las lechugas provenientes del tratamiento con agregado de compost de cama profunda (T3) y por tal motivo tendrían una mayor probabilidad de ser elegidas por el consumidor. Los resultados hallados en este ensayo muestran que el aspecto global es de suma importancia al momento de elegir una lechuga para consumo. Esto concuerda con Menezes et al. (2005) quienes reportan que la aceptabilidad de la lechuga de hoja está más ligada a su apariencia que al resto de los atributos estudiados; dentro de su apariencia un atributo muy importante es el color, ya que éste caracteriza la frescura de la mayoría de las hortalizas. El color se considera un índice de calidad y de carácter distintivo, siendo un criterio primario al momento de elegir un producto para la compra (Rico et al., 2007). Los resultados del análisis de comentarios libres, indican que las lechugas provenientes de las muestras T3 presentaron mayoritariamente un color intenso; esto podría deberse a la mayor cantidad de clorofila presente en los tejidos (Suárez Guato, 2013) coincidiendo con los resultados del índice de color obtenidos en esta tesis, donde las lechugas producidas con la máxima dosis de CCP presentaron el menor valor de IC*, o sea que fueron más verdes que las producidas sin aplicación de compost.

Para el atributo textura, también de gran importancia al momento de consumir una lechuga, los descriptores más mencionados en el análisis de comentarios libres fueron la terneza, turgencia y firmeza coincidiendo con los estudios realizados por Garcia y Barrett, (2004) y Lespinasse et al. (2004). Este parámetro está determinado básicamente por el contenido de humedad que a su vez determina la turgencia de las hojas de lechuga (Suárez Guato, 2013).

Los consumidores de productos frutihortícolas compran en función del aspecto y de la calidad textural y repiten su compra en función a su gusto y aroma (Mondino et al., 2006).

La mayor aceptabilidad de las muestras de lechuga provenientes con manejo de CCP (T3), podría deberse a que son plantas más tiernas, suaves y blandas en contraposición con las provenientes de las muestras sin CCP (T0) que fueron crocantes, turgentes y fibrosas; esta suposición se contrapone a los resultados encontrados en una encuesta realizada a consumidores en la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona (Hernández Palomo, 2018). Dicha encuesta tuvo como objetivo, realizar una valoración de los atributos más importantes para la elección de perfil de la “lechuga ideal” mediante el método CATA (Check all that apply), arrojando como resultado que las características sobresalientes para dicha elección son la crocantez y turgencia entre otros. A su vez, las lechugas con mayor amargor presentaron menor aceptabilidad por parte de los consumidores, coincidiendo con los resultados hallados en este ensayo. Esto podría deberse, a que las muestras de lechuga con mayor sabor amargo contienen mayor contenido de látex en su interior (Horie, 2009). Esta característica puede ser positiva para algunas personas y negativa para otras. A su vez, tal como describen otros autores, los resultados muestran que el sabor es de gran importancia al momento de aceptar o rechazar una lechuga, siendo el amargor un atributo determinante para la elección del producto (Cuppett et al., 1999; Fouladkhah et al., 2011; Esparza-Rivera et al., 2013).

Las pruebas hedónicas presentan la ventaja de proveer información esencial del producto, identificando el grado de gusto o disgusto, permitiendo optimizar o mejorar el mismo. Como desventaja, los resultados pueden arrojar un diagnóstico pobre ya que dependen de la apreciación en base a los gustos y preferencias de panelistas no entrenados, y a la vez, el panel de degustación puede ser una muestra no representativo de la población objetivo (Dominguez, 2007). Por lo tanto, cabe destacar que los resultados hallados en esta tesis son de una población determinada, donde para la aceptabilidad y preferencia de los consumidores intervienen componentes derivados de la propia fisiología individual y condicionamientos socioculturales, pudiendo ser dispares entre regiones, provincias y países dependiendo de la cultura de cada uno de ellos. No obstante, los resultados de este análisis sensorial pueden ser de gran interés para las empresas productoras de lechuga que desean posicionar su producto en los distintos mercados, pudiendo valorizarse de esta manera la incorporación de compost de cama profunda en los sistemas productivos.

Para futuras investigaciones, sería de interés realizar un análisis sensorial en dos etapas: en donde, en una primer instancia se le ofrece al consumidor las dos muestras de lechuga respetando el anonimato de su origen y en una segunda instancia que éstas sean acompañadas de una frase informando el origen del CCP utilizado para la producción de las mismas. Esto sería de importancia, ya que los resultados de los análisis sensoriales, pueden sesgarse en función de la información que se les brinde a los consumidores tal como indican Musto et al. (2015) y Montian (2016). Este sesgo en los resultados puede ser positivo o negativo ya que existe información que no está ligada directamente al alimento que puede ejercer una influencia sobre la percepción del consumidor (Boutroulle, 2007). De esta manera se puede observar si la información adicional brindada tiene influencia en la opinión de los consumidores. A la vez, se aconseja realizar un estudio con mayor cantidad de consumidores ya que Lespinasse et al. (2002) sugiere un mínimo de 90 personas para estudios de productos frutihortícolas.

5.3. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre las propiedades químicas y físico-químicas del suelo

El contenido de materia orgánica y carbono orgánico, son los parámetros utilizados con mayor frecuencia para evaluar la calidad del suelo y se los considera como indicadores por excelencia para medir la sostenibilidad de los agroecosistemas. Su gestión afecta directamente la capacidad productiva de los suelos y la perdurabilidad de los sistemas productivos (Labrador, 2001) debido a su influencia directa sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas (Galantini y Suñer, 2008; Soto et al., 2016). Los resultados de esta tesis muestran que a medida que se incrementan las dosis de CCP los contenidos de CO y MO aumentan, manteniendo estos tratamientos valores superiores respecto al testigo durante los tres ciclos productivos de lechuga. Es esperable que la tendencia en CO y MO sean similares puesto que se asume una relación constante entre ambas variables de 0,58. Los valores de CO promedio hallados en este trabajo (1,36%, 1,49%, 1,61% y 1,73% para T0, T1, T2 y T3 respectivamente) se encuentran por debajo de los reportados por Duval et al. (2015) para ambientes naturales conservados (3,21%) y próximos a los valores de ambientes degradados (1,57%) correspondientes a Argiudoles típicos de la zona. En sistemas hortícolas, Andreau et al. (2012) reportan valores de 1,8% de CO para Argiudoles vérticos de La Plata con 14 años de producción comparados con un 3,7% de CO para un suelo prístino. El sistema hortícola

estudiado evidencia una importante pérdida de carbono orgánico debido principalmente al uso intensivo del suelo que se lleva a cabo en la horticultura tradicional, evidenciando una falta de sustentabilidad de estos sistemas productivos y la necesidad de desarrollar estrategias de manejo y recuperación. Los resultados hallados para la MO del suelo en esta investigación (2,34%, 2,57%, 2,78% y 2,98% para T0, T1, T2 y T3 respectivamente), muestran que el agregado de CCP en alta dosis, permitió mejorar la situación inicial y acercarse al valor crítico citado por Bacigalupo et al., en Wilson (2017) para Argiudoles del sur de Santa Fe. Estos autores consideran que el umbral mínimo de MO para que el suelo exprese su mejor calidad debería ser de 3%, por lo que el agregado de una dosis anual de 12 kg.m² de CCP permitiría aproximarse a una condición de calidad deseable. El aporte de materia orgánica, además, podría estimular el crecimiento vegetal bajo un sistema equilibrado (Julca-Otiniano et al., 2006; Galantini y Suñer, 2008; Martinez et al., 2008), por su efecto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Un aumento de MO permite mejorar la estabilidad estructural, la formación de agregados, la penetración de raíces, la retención del agua y el intercambio gaseoso entre otros beneficios. A la vez, actúa sobre la calidad, disponibilidad y reserva de nutrientes y sobre la actividad de los microorganismos. Si bien la incorporación de CCP en las condiciones de experimentación de esta tesis no permitió superar los valores críticos de CO y MO, el aumento del 27% logrado con la mayor dosis de CCP en relación al testigo, significa una mejora en la calidad del suelo, beneficiando al agroecosistema y al cultivo bajo determinadas condiciones de producción, Castellanos et al. (2000). El incremento en el tenor de MO del suelo mencionado anteriormente, también fue observado por Pegoraro et al. (2019). Los autores hallaron un aumento significativo del 32% al incorporar 14 t.ha⁻¹ de CCP, adjudicando estos resultados al incremento del CO aportado a través del compost.

El acrecentamiento de los niveles de CO encontrado en los suelos que recibieron aporte de CCP respecto al testigo puede ser atribuido al propio contenido de CO de la enmienda aplicada. Resultados similares fueron reportados para suelos hortícolas por Ferreras et al. (2006), Rotondo et al. (2009), Gonzalez et al. (2011) y Prack Mc Cormick et al. (2019) al incorporar enmiendas orgánicas. También fue observado por Morales et al. (2016) al incorporar CCP semicompostada (equivalente a 104 y 209 kgN.ha⁻¹.año⁻¹) luego de nueve aplicaciones anuales y por Brunetto et al. (2012) en los primeros 30 cm de suelo, al realizar incorporaciones de CCP (equivalente a 90 y 180 kgN.ha⁻¹.año⁻¹) durante ocho años. El aporte de CO que se logra al aplicar altas dosis de compost orgánicos produce un importante

incremento en el porcentaje de MO, Romaniuk et al. (2010). Cardoso et al. (2011), analizando los cambios producidos en las propiedades del suelo al añadir dosis crecientes de compost orgánico (3, 6, 9 y 12 kg.m⁻²), reportaron un aumento lineal entre el contenido de MO del suelo y las dosis de compost aplicada; los resultados hallados en este experimento, coinciden con los de estos autores.

Si bien no se hallaron diferencias estadísticas entre ciclos de cultivo para las variables CO y MO, se observa una disminución de los valores iniciales con el paso del tiempo. Resultados similares fueron encontrados por Gonzalez et al. (2011) al estudiar la evolución durante 18 meses del contenido de carbono oxidable, en un Argiudol típico dedicado a la producción hortícola, luego de una única aplicación de distintas enmiendas orgánicas. Estos autores ponen en evidencia que el contenido de CO en el suelo, no permanece en forma estable a lo largo del tiempo, ya que hallaron una disminución ligera de CO en los primeros seis meses y una disminución marcada en los trece meses siguientes.

Con respecto al nitrógeno, en esta tesis se hallaron mayores contenidos de N en el tratamiento con la dosis más elevada de CCP (12 kg.m⁻²) respecto al testigo sin aplicación en el espesor de 0 a 20 cm durante los tres ciclos de cultivo, mientras que en los tratamientos con menores dosis (6 y 9 kg.m⁻²) se observó un incremento solo en el primer ciclo. Este aumento en los valores de N encontrados en los suelos con aplicación de CCP, es explicado por el incremento de las dosis del mismo; de acuerdo al análisis original del compost, éste contenía 0,22% de N, estimándose un aporte de N de 83, 125 y 165 kg.ha⁻¹ para los niveles de 6, 9 y 12 kg.m⁻² respectivamente. Estos resultados coinciden con Armstrong et al. (2007), quienes reportaron aumentos significativos de N y de nitratos en los primeros 10 cm de suelo, luego de aplicar camas porcinas compostadas en un rango de dosis entre 2 y 4 kg.m⁻² en relación a suelos no abonados. A la vez son similares a los reportados por Morales et al. (2016) tras incorporar materiales provenientes de cama profunda semicompostada durante nueve años consecutivos a razón de 104 y 209 kgN.ha⁻¹.año⁻¹ comparados con el control sin aplicación. También fueron reportados por Paterlini et al. (2019), al experimentar con dosis crecientes de compost de cama de pollo en la producción de lechuga crespa morada. Estos autores atribuyen los aumentos en los niveles de N del suelo, al nitrógeno aportado por la enmienda orgánica.

Respecto a los valores de nitratos observados durante el primer ciclo productivo de lechuga, si bien no se observaron diferencias estadísticas, se halló mayor disponibilidad de N con dosis elevadas de compost (35% superior en T2 con respecto a T0). El N es el macronutriente de

mayor importancia en cuanto a la limitación de la producción de lechuga, interviniendo en la síntesis de clorofila, proteínas, aminoácidos, vitaminas, enzimas y gran número de otros compuestos vitales en el metabolismo vegetal; la deficiencia en lechuga produce disminución del vigor, del rendimiento y hojas de tamaño pequeño con coloración verde pálido (Castellanos et al., 2000; Maroto, 2000), pudiendo explicar parte de los resultados hallados en esta tesis en las variables productivas. Estos resultados coinciden en parte con los de Aruani et al. (2008) quienes hallaron incrementos significativos en la concentración de nitratos en los primeros treinta centímetros de suelo, al incorporar enmiendas orgánicas a base de estiércol de pollo en una cantidad de N equivalente a 100 kg.ha^{-1} , relacionándolos también con aumentos en el rendimiento.

Por otra parte, se halló una gran variabilidad en los valores de nitratos observados durante el primer ciclo en las parcelas que recibieron el aporte de CCP, con un coeficiente de variación de 1,3; 20; 20 y 36% para T0, T1, T2 y T3 respectivamente; esto podría deberse a la distribución desuniforme del compost en el suelo al momento de la aplicación manual al voleo y a la posterior incorporación con motocultivador. A la vez podría atribuirse a la granulometría variable del material que no permite un mezclado homogéneo con el suelo. En este experimento, no se realizó un tamizado previo a la incorporación del compost, por lo que la granulometría poco homogénea pudo inducir a diferentes procesos relacionados con el N, impactando sobre la variabilidad de los datos de nitratos observados en los tratamientos con aplicación de CCP. Mazzarino et al. (2004) reportan diferencias significativas en los procesos de inmovilización y mineralización del N de acuerdo a la incorporación de compost a base de biosólidos tamizados o sin tamizar. Los autores hallaron que en el primer caso no se produjo inmovilización del N, diferenciándose del no tamizado en el cual ocurrió una inmovilización parcial durante unas seis a ocho semanas posterior a la aplicación. En futuros experimentos habría que analizar el efecto del tamaño de partícula o tamizado del compost de CPP sobre la dinámica de nutrientes; de encontrarse diferencias importantes, se podría sugerir tamizar el compost antes de su aplicación para homogenizar el tamaño de las mismas.

La relación carbono-nitrógeno es un indicador de la mineralización de la MO del suelo correlacionado fuertemente con las propiedades edáficas del mismo (Soto et al., 2016). La incorporación al suelo de enmiendas con una elevada relación C/N, puede modificar la relación en el mismo. El efecto de la aplicación de compost sobre el N de suelo, también está condicionado por la relación C/N del material que se incorpore. El compost de CCP proviene

de una mezcla de materiales ricos en carbono, como son los henos de gramíneas, y de un material rico en nitrógeno, como son las heces de los animales. Por este motivo, el impacto en la dinámica de nutrientes es diferente a la que tendría cada material por separado y sin compostar. Los valores de relación C/N promedios de los tratamientos para cada ciclo de cultivo encontrados en este trabajo, evidencian la dinámica del carbono y del nitrógeno a través del tiempo, observándose una disminución del 29% en dicha relación hacia el último ciclo, debido a una reducción del 17% del CO y al aumento en un 25% del N observado entre el primer, segundo y tercer ciclo. Al analizar los valores registrados entre tratamientos para cada ciclo, los cambios observados no fueron de una magnitud suficiente como para hallar diferencias estadísticas en la relación C/N del suelo, por lo que no existen evidencias para inferir que el agregado de CCP produzca efectos significativos en esta variable.

El pH del suelo, es la concentración de iones hidrógeno (H^+) que posee la solución del mismo, determinando acidez o alcalinidad de acuerdo a su valor. Es un parámetro de gran importancia ya que influye directamente en la asimilación de los distintos elementos químicos por parte de los vegetales, como así también en las propiedades físicas y biológicas del suelo (Ferratto et al., 2010). Los valores óptimos para la salud del suelo y la actividad microbiana se encuentra en un rango de 6 a 7,5 (Romaniuk et al., 2010). La tendencia a la alcalinización evidenciada en este ensayo en el rango de 7,4 a 8,6 de pH entre el primer y tercer ciclo, podría asociarse a la presencia de sodio en el agua de riego que presentó valores de 325 mg.l^{-1} . Cabe aclarar que valores mayores a 250 mg.l^{-1} en agua, pueden producir efectos fitotóxicos en los cultivos, aunque no fueron observados a simple vista, posiblemente ya que ésta fue utilizada en los diferentes ciclos de cultivo en forma complementaria a las precipitaciones. Por otra parte, el agua de riego posee una relación de absorción de sodio (RAS) de 24,6, por lo que es clasificada según las Normas Riverside como S4, es decir agua con contenido muy alto en sodio, coincidiendo con la calidad del agua de la zona, a la vez el valor de pH es de 8,15, considerándose alcalino. Los análisis del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) realizados en el espesor 0 -20 cm del suelo, al inicio del estudio, arrojaron valores de 0,8% y 1,1% para T0 y T3 respectivamente, lo que se considera un nivel de sodicidad bajo. Con el transcurso del tiempo, el agua de riego podría haber enriquecido al suelo con sodio, elevando su pH. La presencia de iones de carbonatos y bicarbonatos en el agua también pueden incrementar el pH del suelo. Si bien el cultivo de lechuga requiere un pH óptimo entre 6,5 a 7,4 puede vegetar sin problemas con valores entre 5 a 8,5 (Maroto, 2000; Muguero et al., 2017; Subbarao et al.,

2017), por lo tanto los valores hallados en esta investigación, no deberían haber afectado considerablemente a las variables productivas. Contrariamente a los resultados observados en esta tesis, Pegoraro et al. (2019), no reportaron diferencias significativas en los valores de pH del suelo (Argiudol típico) luego de la incorporación de CCP previa a la siembra del cultivo de soja (*Glycine max* L.). Esta observación de los autores mencionados anteriormente, también fue registrada por Morales et al. (2016) luego de la incorporación al suelo de 209 kgN.ha⁻¹.año⁻¹ a través de derivados de cama profunda parcialmente descompuesta; dicha incorporación se realizó durante nueve años consecutivos, y posteriormente se sembraron gramíneas sin aplicación de riego. Los hallazgos proporcionados por Pegoraro y Morales, podrían validar que el incremento de los valores observados en esta investigación, son causados principalmente por el agua de riego y no por el efecto compost, ya que los cultivos utilizados en sus investigaciones se practicaron sin aporte artificial de agua. Prack Mc Cormick et al. (2019) reportaron una tendencia a la alcalinización en los tratamientos con incorporación de cama de pollo en suelos de textura fina, observando diferencias estadísticas con respecto al testigo sin aplicación. Contrariamente a estos resultados reportados por los autores mencionados anteriormente, en esta tesis, no se hallaron diferencias entre dosis de compost, ni entre éstas y el testigo sin aplicación, por lo tanto se deduce que el uso del CCP no afectaría el pH del suelo, variable que estaría condicionada por la calidad del agua de riego.

Respecto a las sales, el agua de riego utilizada en el ensayo posee una CE de 1.200 mS.cm⁻¹, la cual, de acuerdo a la calificación realizada por el Laboratorio de Salinidad de Riverside en función de la conductividad eléctrica, es clasificada como C3, con un contenido salino estimado en 0,8 g.l⁻¹. Son aguas con alta salinidad que pueden utilizarse para riego pero en suelos con buen drenaje, utilizando excesos de agua para el lavado de sales y cultivos poco sensibles a las mismas. A pesar de esto, en el suelo se hallaron valores bajos de CE, correspondiendo a 0,17; 0,16; 0,20 y 0,21 mS.cm⁻¹ para T0, T1, T2 y T3 respectivamente, sobre muestras extraídas en el segundo ciclo de cultivo, cuando se detectó un aumento del pH. Estos resultados podrían ser atribuidos a que el sistema de producción de lechuga fue a campo y que el riego fue utilizado en forma complementaria a las precipitaciones ocurridas en los tres ciclos (888 mm), pudiendo producir el lavado de sales a capas sub-superficiales del suelo, manteniendo a la CE en valores bajos (Paterlini et al., 2019). A la vez, no se hallaron diferencias estadísticas entre tratamientos, pero se observó que los valores aumentan a medida

que lo hacen las dosis de agregado de CCP, por lo que podría haber un efecto de la enmienda, evidenciando la necesidad de monitorear la CE a lo largo del tiempo, así como el pH. Pegoraro et al. (2019) reportó un aumento de la CE al incorporar 14 t.ha⁻¹ de CCP, adjudicando estos resultados a la incorporación de sales a través del compost. Esta necesidad de monitoreo de la CE y del pH ya había sido señalada por Romaniuk et al. (2010), quienes reportaron incrementos en los valores de CE y pH al incorporar 20 t.ha⁻¹ de vermicompost en Hapludoles y por Prack Mc Cormick et al. (2019) quienes hallaron aumentos significativos de la CE y el pH al incorporar cama de pollo como enmienda orgánica. Cabe destacar que todos los valores observados en este experimento se encuentran por debajo de 1,3 mS.cm⁻¹, valor máximo de salinidad señalado en el cual no se afecta la potencialidad productiva del cultivo de lechuga (Maroto, 2000; Castellanos, 2004).

Respecto al fósforo, se hallaron aumentos considerables en los niveles de este nutriente en el corto plazo coincidiendo con lo reportado por Mc Andrews et al. (2006); dichos aumentos puede ser atribuibles a la riqueza fosforada del compost aplicado. Desde el inicio del ensayo se hallaron elevados valores de P en el espesor superficial de suelo, evidenciando un enriquecimiento del mismo y alertando sobre las dosis de compost a aplicar para evitar un desbalance de nutrientes. En suelos de uso hortícola de Argentina es común encontrar elevados niveles de fósforo debido a la sobre-fertilización que se realiza en ellos, que pueden generar problemas ambientales y de desbalance nutricional (Paladino et al., 2018). Andreau et al. (2012) en suelos dedicados a horticultura por 20 años reportaron niveles extremos de P (hasta 830 mg.kg⁻¹), superando ampliamente el requerimiento de los cultivos hortícolas. Cuellas (2017) en un estudio realizado en 36 sitios de uso hortícola bajo cubierta del Cinturón Hortícola del Gran La Plata, halló niveles de P entre 100 y 535 mg.kg⁻¹, siendo el valor promedio de los sitios de 253 mg.kg⁻¹. Los autores atribuyen estos resultados al exceso de aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizantes sin tener en cuenta los requerimientos de los cultivos como así tampoco el tipo de suelo. Habitualmente, se recomiendan dosis de aplicación de compost orgánicos en base a su riqueza en N y al requerimiento de este macronutriente por parte del cultivo, sin tener en cuenta la demanda y el aporte de P. De acuerdo a Ferrato et al. (2010) y Ciampitti et al. (2012), el requerimiento de P estimado para lechuga crespa para un rendimiento en fresco de 14 t.ha⁻¹ es de 6 kg.ha⁻¹. Considerando la sumatoria de rendimiento fresco obtenido en los tres ciclos, 44,6; 48,2 y 50,5 t.ha⁻¹ los requerimientos de P estarían en el rango comprendido entre 18 y 20 kg.ha⁻¹ respectivamente.

La dotación de P en el suelo en la situación de referencia ($208 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) satisface ampliamente la demanda del cultivo. La aplicación de CCP significó un aumento de este elemento en un rango de 70 a $110 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, lo que puede constituir un riesgo ambiental en el caso de que se repitan las aplicaciones. Otras enmiendas orgánicas también presentan este riesgo. Paterlini et al. (2019) y Prack Mc Cormick et al. (2019) hallaron que el aporte de este nutriente por parte de compost de cama de pollo supera ampliamente los requerimientos del cultivo de lechuga, por lo que se acumula un exceso de P, causando posibles efectos de contaminación. Los autores alertan sobre la insostenibilidad de esta práctica en el tiempo, ya que si bien compensa la pérdida de carbono y nitrógeno, se elevan los niveles de fósforo de forma extrema. Problemáticas de este tipo también fueron reportados por Guardini et al. (2012), tras incorporar altas dosis de P al suelo ($824 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) mediante el agregado de estiércol de cerdos durante siete años consecutivos y donde los requerimientos de los cultivos sembrados, no fueron suficientes para absorber el P incorporado. El proceso de acumulación, junto con la lixiviación y escorrentía, generan contaminación de napas freáticas (Mc Andrews et al., 2006; Mazzarino et al., 2012). En esta tesis, la disminución de los valores de P a través del tiempo (ciclos productivos de lechuga) pudo deberse al consumo del cultivo, o a la posible ocurrencia de alguno de los procesos mencionados anteriormente. El incremento en la concentración de P ocasionado por la incorporación de CCP, puede ser perjudicial para algunos suelos o sistemas productivos, no obstante ello, puede ser beneficioso para elevar su concentración en sistemas pobres o con baja disponibilidad, situación observada en algunos suelos de Argentina (Sainz Rozas et al., 2012).

La incorporación al suelo de materiales orgánicos como enmiendas, presenta ventajas frente a la fertilización inorgánica puesto que se activa la población microbiana de la rizósfera (Alvarez-Solís et al., 2010) impactando de manera positiva en la conservación de suelo. En estudios futuros, debería abordarse el rol de la biomasa microbiana en el ambiente edáfico intervenido por aplicaciones orgánicas de este tipo, así como el estudio de otros macronutrientes presentes en el compost, como por ejemplo potasio, calcio y magnesio que pueden influir marcadamente en la producción de los cultivos hortícolas. La utilización de residuos de cama porcina compostados en sistemas de producción intensivos, permite complementar actividades productivas, recirculando fuentes orgánicas y disminuir riesgos ambientales.

5.4. Evaluación del efecto de la incorporación del compost de cama profunda porcina sobre las propiedades físicas del suelo

La estabilidad de la estructura es un atributo dinámico, sensible y complejo que es considerado indicador de calidad, de recuperación o degradación de los suelos. Está determinada por la unión de las partículas primarias. Esta unión es mediada por coloides orgánicos, resultantes de la acción de microorganismos asociados al ciclo de la materia orgánica y de los exudados radicales, como así también por coloides inorgánicos. La medición de la EE de los agregados permite estimar la capacidad que presenta un suelo para mantener su estructura ante condiciones degradativas, originadas por la fuerza del agua o por la acción mecánica (Hénin et al., 1958; Doran y Parkin, 1994; Soil Science Society of América, 1997; Gabiould et al., 2011). En este estudio se observó un aumento de 37, 60 y 75% de EE respecto al T0 con la incorporación al suelo de 6, 9 y 12 kg.m⁻² de CCP en promedio de los tres ciclos de lechuga. Los valores promedio de EE no obstante son bajos, alcanzando un 5,83; 6,81 y 7,46% de EE para T1, T2 y T3 respectivamente. Rotondo et al. (2009) en un estudio previo a esta tesis realizado en el sección hortícola de la FCA, UNR, también hallaron efectos significativos sobre el porcentaje de agregados estables al agua en parcelas que recibieron 2 kg.m⁻² de enmiendas. La magnitud de la mejora reportada por estos autores con dosis menores fue superior a la hallada en este trabajo con dosis mayores debido, probablemente, a que utilizaron enmiendas de lombricompost y cama de pollo con altos contenidos de CO (18% y 43%). En producciones intensivas, rotadas en forma continua con gramíneas como avena y maíz, los valores de EE pueden ser mayores que los hallados en sistemas hortícolas no rotados, como los estudiados en esta investigación. Alvarez et al. (2008) reportan valores de EE de 55% evidenciando el efecto de la incorporación de rastrojos. El aumento de la estabilidad hallado en esta tesis como resultado del agregado de CCP, presentó una tendencia similar al reportado por Andreau et al. (2012) en un estudio realizado en Argiudoles vérticos deteriorados físicamente luego de 14 años de horticultura bajo sistema forzado. Estos autores observaron diferencias significativas favorables de la EE en suelos que recibieron 79,3 m³.ha⁻¹ de cama de pollo como enmienda comparadas con el testigo sin aplicación, atribuyendo la mejora al efecto del carbono orgánico agregado con la enmienda. A la vez, visualizaron una tendencia a la recuperación del suelo en un lapso de tiempo relativamente corto correspondiente a cinco meses luego de la incorporación. La modificación de la EE frente al agregado de CCP observada en esta tesis también ocurrió en forma casi inmediata, a pesar de

que se notó una disminución del efecto con el tiempo, pero manteniendo diferencias con el testigo.

La mejora de la EE en el corto plazo hallada en este estudio, estaría relacionada con las características propias del compost, probablemente a mediano o largo plazo pueda existir, además, un efecto de la MO incorporada con el compost sobre los mecanismos que generan condiciones estructurales más adecuadas. Se debería continuar investigando el efecto de la incorporación de enmiendas sobre las propiedades físicas de los suelos hortícolas degradados en lapsos de tiempo prolongados. El efecto de los residuos orgánicos compostados sobre la estructura de suelo determina, en general, una mejora lenta pero estable de la misma debido al predominio de sustancias húmicas. Si el material no está adecuadamente compostado, las fuentes de carbono son más susceptibles a la descomposición, favoreciendo el desarrollo de microorganismos y en consecuencia, un aumento rápido de la estabilidad debido a hifas de hongos y polisacáridos extracelulares que unen partículas y microagregados. Este aumento de estabilidad puede ser temporario ya que la población de microorganismos decrece y se pierde el entrelazamiento logrado (Haynes y Naidu, 1998). En este estudio, se observa una disminución de la EE a través del tiempo, aunque la estabilidad de los agregados menores a 0,25 mm es superior al testigo sin incorporación de CCP durante los tres ciclos de cultivo de lechuga. La pérdida de estabilidad en el tiempo también podría atribuirse al tipo de enmienda; las de origen animal, poseen compuestos hidrofóbicos como lípidos que unen partículas minerales y microagregados para formar macroagregados, pero también poseen agentes dispersantes como sodio, potasio, amonio y ácidos orgánicos de cargas positivas que producen desagregación (Whalen y Chan, 2002).

Por otra parte, la alta EE hallada en el compost puro utilizado en este estudio (77%), podría indicar presencia de arena de tamaño medio a muy grueso (partículas mayores a 0,25 mm). A su vez el material adicionado a la cama por la práctica de raspar suelo, puede sumar elementos dispersantes diferentes a los ya mencionados para residuos de origen animal y tener también consecuencias sobre la pérdida de EE en el tiempo. Haynes y Naidu (1998) advirtieron que al cargar estiércol de feed lot dispuestos sobre piso de tierra se arrastra suelo, lo que tras varios años de aplicación de la enmienda en un mismo sitio, provoca cambios texturales en los primeros centímetros. El manejo de los túneles de vientos o camas profundas porcinas contempla la adición de un lecho de arena previo a la colocación del heno, que es retirada junto con los residuos de heces y paja al finalizar los ciclos de crianza en cada galpón.

Respecto a la densidad aparente, en esta tesis se observó una disminución en los tratamientos con aporte de altas dosis de CCP (T2: 1,16 g.cm⁻³; T3: 1,14 g.cm⁻³) en comparación con el testigo sin aplicación (T0: 1,22 g.cm⁻³) como promedio de los tres ciclos de lechuga. Estos resultados coinciden, en parte, con los de otros autores. Andreau et al. (2012), en Argiudoles deteriorados físicamente luego de 14 años de horticultura bajo forzado, hallaron una disminución estadística significativa de la DA en el orden de 1,07 g.cm⁻³ para el testigo versus 1,0 g.cm⁻³ para el suelo con enmienda de cama de pollo, y un aumento de la PT alcanzando valores de 60% para el testigo y 62.2% para el suelo con enmienda. Romaniuk et al. (2010) en un estudio con el agregado de 20 g.cm⁻¹ de vermicompost en Hapludoles observaron una caída de la DA (1,24 g.cm⁻³) en comparación con el tratamiento sin aplicación (1,26 g.cm⁻³). La disminución de la DA en los tratamientos con adición de CCP, podría ser atribuida a la acción de sustancias aglutinantes provenientes de la descomposición de la materia orgánica, que estabilizan la estructura del suelo y favorece a su vez, la porosidad del mismo (Sanchez Hernandez et al., 2005 y Sanchez Hernandez et al., 2006). Sasal et al. (2000) en Argiudoles, hallaron una disminución del 10% en los valores de DA en suelos hortícolas que recibieron enmiendas compuestas por estiércol bovino fresco y paja de avena triturada (1,03 g.cm⁻³), respecto a un sitio sin cultivar (1,15 g.cm⁻³). Los resultados hallados en esta investigación, arrojaron valores de 4,1%, 4,9% y 6,5% en la reducción de la DA para los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente respecto al testigo sin aplicación de CCP. Esta diferencia en la magnitud de la respuesta a la incorporación de enmiendas, podría deberse a que en el primer caso se trata de un material no compostado rico en fibras. Los autores mencionados también informan, que por cada tonelada de CO.ha⁻¹ añadida, la DA disminuyó aproximadamente 0,006 g.cm⁻³ luego de dos años de tratamiento con diferentes enmiendas que aportaron 6,9; 13,9 y 19,9 t.ha⁻¹ de carbono a igualdad de dosis. En este estudio, la reducción de la DA por tonelada de CO aportada por el CCP, fue de 0,017 g.cm⁻³ para T1 y 0,014 g.cm⁻³ para T2 y T3, con aportes de 2,9; 4,4 y 5,9 t.ha⁻¹ de CO. Se puede observar que el agregado de mayores dosis tendría una menor eficiencia en la mejora de la DA del suelo en el espesor 5-10 cm, aunque la mejora sea significativa. Las diferencias en las relaciones halladas en esta investigación con las de Sasal et al. (2000), podrían deberse a que en el primer caso los resultados corresponden a enmiendas distintas, mientras que en este estudio, fue siempre la misma pero con diferentes dosis. La comparación evidencia que las respuestas a esta práctica

agronómica, no solo depende de la cantidad, sino del tipo de enmienda. Este estudio aporta información significativa e inédita respecto al uso de compost de cama profunda.

La disminución de la DA como consecuencia de la adición de residuos orgánicos al suelo también puede atribuirse a un efecto dilución causado por la mezcla de la fracción orgánica con la fracción mineral más densa (Haynes y Naidu, 1998). En este trabajo, la cantidad de material compostado correspondió a un 2,56; 3,88 y 5,26% del peso de la capa 0-20 cm (T1, T2 y T3 respectivamente). La adición del doble de material no fue acompañado por una disminución proporcional de la densidad, aunque el valor absoluto alcanzado fue menor al testigo. Estos aspectos deben ser tenidos en cuenta para cálculo de dosis en función de la variable edáfica que se desee mejorar.

La DA afecta de distinta forma al cultivo, dependiendo de la especie, del estado fenológico en el cual se presentan los valores críticos, de la profundidad, del tránsito y de los manejos agronómicos entre otros. El rango óptimo para la producción agrícola en suelos de textura fina se encuentra entre 0,9 a 1,2 g.cm⁻³; valores inferiores pueden disminuir la retención del agua y el íntimo contacto entre las raíces y el suelo, mientras que valores superiores a este rango pueden ocasionar disminución de la porosidad y de la elongación de las raíces (Reynolds et al., 2003; Duval et al., 2015). En este estudio, T0 presentó un valor promedio (1,22 g.cm⁻³) a lo largo de los tres ciclos ligeramente superior al citado anteriormente como óptimo, mientras que los tratamientos con adición de CCP estuvieron situados en el rango ideal (1,17; 1,16 y 1,14 g.cm⁻³ para T1, T2 y T3 respectivamente). Las diferencias halladas entre tratamientos no son de una magnitud suficiente para poder inferir que los menores valores de DA observados en los tratamientos con adición de CCP presenten ventajas comparativas en la retención de agua, en el desarrollo radicular del cultivo de lechuga e indirectamente en el rendimiento, por lo que no se puede concluir al respecto. No obstante en este estudio, todos los tratamientos presentaron una tendencia al aumento de la densidad con el tiempo por lo que debería evaluarse el efecto en plazos mayores o frente a una nueva aplicación de compost y bajo condiciones de no remoción del suelo en forma periódica.

La resistencia mecánica a la penetración, es una variable utilizada para estimar la fuerza que deben realizar las raíces para explorar el suelo. Los problemas de compactación de los suelos hortícolas es una temática de gran importancia, utilizándose la resistencia mecánica a la penetración (RP) como un parámetro estimativo de la misma. Si bien, cada especie vegetal tiene diferentes capacidades para penetrar el suelo, en horticultura, valores cercanos a 1 MPa

son potencialmente limitantes para un crecimiento radicular adecuado, mientras que los cercanos a 2 MPa serían críticos para dicho desarrollo. El incremento de la RP no solo afecta el crecimiento normal de órganos subterráneos, como tubérculos y raíces, sino también el de la parte aérea, resultando en una disminución de la materia seca y del rendimiento en general (Jorajuría et al., en Vázquez y Terminiello, 2008). En esta tesis, los bajos niveles de RP hallados hasta los 20 cm de espesor en las platabandas, indican que la situación inicial no presentó grandes limitantes físicas y que el disturbio del suelo previo al primer trasplante es importante, manteniéndose a lo largo de los tres ciclos con valores por debajo de los críticos mencionados anteriormente para el desarrollo radical (RP promedio de los tres ciclos de 0-10 cm: 0,43 para T0 y 0,34 MPa para T3; RP promedio de los tres ciclos de 10-20 cm: 0,54 para T0 y 0,50 MPa para T3). De acuerdo a lo reportado por Armstrong (2007), la aplicación de CCP podría tener mayor impacto sobre la RP en suelos con importantes limitantes físicas, como puede ser los pobremente estructurados, con textura arenosa en superficie y RP mayores a 2 MPa. Por lo tanto, la magnitud del impacto del uso del compost sobre la RP, dependerá de las condiciones iniciales del sistema.

La preparación del suelo para el cultivo de hortalizas, requiere una serie de labores que permiten acondicionarlo para su posterior sistematización sobre nivel, en lomos o platabandas. En esta tesis, el suelo fue acondicionado mediante dos labores de cincel, una labor de disco de doble acción y una de vibrocultivador. La remoción provocada por estas labores permitió la conformación de las platabandas a partir de trabajar unos 20 cm de suelo superficial. La sistematización se realizó en forma mecánica con escardillo siendo refinadas posteriormente en forma manual con azada. Esta práctica, modifica el perfil edáfico original alterando las propiedades del sitio experimental. La incorporación del CCP por medio del motocultivador, también contribuye a la modificación de la estructura. Todas estas intervenciones podrían explicar parte de los bajos valores observados de RP, los que fueron menores a los potencialmente limitantes durante los tres ciclos de cultivo de lechuga.

La infiltración es el proceso de entrada de agua, generalmente vertical, a través de la superficie del suelo, lo que constituye la primera etapa del movimiento del agua edáfica. La tasa de infiltración es la velocidad con que el agua desaparece de la superficie por su entrada al suelo ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) y se relaciona con la capacidad de las capas superiores para absorber agua. Las elevadas tasas de I halladas en esta investigación, ponen en evidencia, que el suelo que conforma las platabandas difiere en gran medida de la primer capa (horizonte A) del perfil

correspondiente al Argiudol vértico descrito para el sitio. Dorán (1999), considera que por encima de 508 mm.h^{-1} la tasa de infiltración es muy rápida y que el umbral crítico que afecta la entrada de agua al suelo es de 20 mm.h^{-1} . En síntesis, la entrada de agua al perfil no sería una limitante en estos sistemas y el agregado de CCP no impactaría notablemente sobre este primer proceso en la dinámica del agua edáfica, al menos en el tiempo evaluado.

El efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo, está condicionado por el tipo de material, la dosis y la variabilidad del sitio donde se la aplique. Evaluaciones realizadas en corto plazo, pueden no detectar cambios en la condición física a pesar de que la condición química y biológica del suelo manifieste mejoras (Romaniuk et al., 2010). En numerosas situaciones se necesitan altas dosis de enmiendas para que su aplicación sea útil para los sistemas de producción (Albiach et al., 2000). Este estudio evidencia una mejora en la estabilidad de la estructura en el corto plazo, una disminución de la densidad de suelo y un aumento de la porosidad total utilizando dosis altas de CCP. La respuesta en otros indicadores de la condición física, como la tasa de infiltración y la resistencia mecánica a la penetración, no fueron útiles, bajo las condiciones de este experimento, para evaluar el efecto de la aplicación de compost de CPP debido al disturbio impuesto por la preparación del sitio para el desarrollo de los cultivos.

Existe una necesidad creciente de tratar y dar un destino final a los residuos generados en actividades agropecuarias intensivas. Al respecto se vienen sancionando normativas nacionales y locales que impulsan la consideración de los residuos como parte de las cadenas productivas promoviendo la economía circular, con el fin de conservar los recursos naturales. A pesar de que en este estudio no se haya encontrado un efecto notorio en la mejora de la condición física de suelo, el uso de compost de CCP en sistemas hortícolas, es una alternativa viable para dar respuesta a la disposición final de residuos de camas profundas porcinas.

6. CONCLUSIONES

- La aplicación de 9 y 12 kg.m⁻² de compost de cama profunda porcina, permite aumentar el rendimiento en fresco, el rendimiento en peso seco, el área foliar y generar un color verde más oscuro del cultivo durante dos ciclos consecutivos, es decir que la respuesta se observa en el corto plazo. El efecto del compost sobre el número de hojas por planta y el porcentaje de materia seca aérea y radical, se observó sólo en el segundo ciclo, denotando el efecto de la oferta ambiental en cuanto a radiación y temperaturas, en ese período.

Estas conclusiones permiten aceptar la primer hipótesis parcialmente, ya que si bien la aplicación de compost de cama profunda porcina mejoró la mayoría de los parámetros productivos y de calidad investigados, no produjo un incremento en número de hojas en todos los ciclos. Así mismo no se halló una respuesta consistente para todas las variables con la dosis menor de compost, correspondiente a 6 kg.m⁻².

- Considerando la preferencia de los participantes que realizaron el análisis sensorial, la lechuga proveniente del tratamiento con máxima dosis de compost de cama profunda porcina (12 kg.m⁻²) presenta alta probabilidad de ser elegida por el consumidor, presentando en líneas generales, color intenso, textura tierna, siendo suave el amargor y su aroma.

Estas conclusiones permiten aceptar la segunda hipótesis respecto a que el agregado de compost de cama profunda porcina no incide de forma negativa en la aceptabilidad y preferencia de los consumidores. Por el contrario, el producto obtenido con el agregado de compost, derivó en la elección de la mayoría de los consumidores que realizaron el análisis sensorial.

- La incorporación al suelo de compost de cama profunda porcina aumenta el contenido de carbono orgánico y de materia orgánica respecto al testigo sin compost, con respuesta al aumento de dosis y manteniendo las diferencias a lo largo de los ciclos. Los niveles de fósforo también son mayores en el suelo con adición de compost, con respuesta al aumento de dosis y manteniendo las diferencias a lo largo de los ciclos. Entre dosis se hallaron diferencias entre la de 12 kg.m⁻² y las dosis menores en los tres

ciclos de cultivo. Respecto al nitrógeno del suelo, se halló una relación consistente entre la dosis de compost y el contenido de este nutriente considerando todos los ciclos de cultivo. La mayor diferencia entre tratamientos fue entre la dosis de 12 kg.m⁻² y el suelo sin adición. Las dosis menores se diferenciaron solo en el primer ciclo. La adición de compost no presentó mayor influencia en la relación C/N y el pH. Cabe aclarar que el enriquecimiento del suelo con fósforo alerta sobre la necesidad de realizar monitoreos continuos. En relación al pH, si bien los valores hallados no están comprendidos en el rango óptimo de desarrollo del cultivo de lechuga, el agregado de compost no empeoró la situación inicial.

En base a estas conclusiones, se acepta la tercer hipótesis respecto a la mejora de la condición química de suelo, haciendo la salvedad del potencial riesgo ambiental para el caso del fósforo en los sistemas hortícolas.

- La incorporación de compost de cama profunda porcina en suelos de uso hortícola, incrementa la estabilidad estructural, con mayor respuesta ante el incremento de dosis. La porosidad total aumenta, y disminuye la densidad aparente a lo largo de todos los ciclos, evidenciando mayores diferencias con las dos dosis más elevadas. La resistencia a la penetración solo mejoró con el agregado de compost, el estrato de 0-10 cm, sin encontrar respuesta a dosis. Tampoco se halló efecto sobre la tasa de infiltración. Estas últimas variables resultaron ser poco sensibles para el sistema de producción de lechuga en platabandas, como el planteado en esta tesis.

De acuerdo a estas conclusiones se acepta parcialmente la cuarta hipótesis respecto a la mejora de las condiciones edáficas físicas.

Finalmente, los hallazgos respecto a la mejora de variables productivas, de calidad de lechuga y edáficas, así como la elevada aceptabilidad y preferencia del producto por parte de los consumidores, demuestran que es posible aprovechar y optimizar el uso de residuos porcinos en empresas productoras de lechuga, con posibilidad de acceder a mercados que den valor a la reutilización de desechos orgánicos.

7. POSIBLES LÍNEAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

A continuación se detallan posibles líneas para futuras investigaciones:

- Investigar el resultado de la aplicación de CCP, en otras especies hortícolas de importancia en Argentina, como así también en otros sistemas productivos como el forzado y semiforzado.
- Estudiar las relaciones entre dosis y rendimientos para establecer el techo de producción posible de alcanzar con CCP, teniendo en cuenta el monitoreo continuo de los parámetros edáficos para evitar posibles problemas ambientales.
- Incorporar variables de seguridad alimentaria como el contenido de nitratos en hortalizas de hojas.
- Analizar la inocuidad del producto cosechado a través de la determinación de la presencia y cantidad de microorganismos perjudiciales para la salud.
- Estudiar el efecto del tamaño de las partículas de CCP previo a su incorporación.
- Evaluar el efecto de la aplicación de CCP sobre la condición biológica del suelo, debido a la influencia que ésta adquiere en el ciclo de la MO y de los nutrientes, y por ende, en la relación suelo-vegetal.
- Investigar el efecto de la incorporación de CCP en los suelos hortícolas en lapsos de tiempo prolongados, ya que se observa disminución de algunas variables químicas y físicas, como CO, MO, EE, y el aumento de otras como el P y CE a través de tiempo, alertando sobre la necesidad de realizar monitoreos periódicos.
- Evaluar la incidencia de la incorporación de CCP sobre los elementos traza o potencialmente peligrosos, a fin de evitar acumulación de los mismos y por ende contaminación ambiental.

- Desarrollar otros métodos para cuantificar variables edáficas específicas para suelos hortícolas degradados, que generalmente, son sistematizados sobre nivel en lomos o platabandas.
- Valorizar otros macronutrientes presentes en el compost, como así también micronutrientes que pueden influir marcadamente en la producción de los cultivos hortícolas.
- Investigar el comportamiento poscosecha de la lechuga bajo los diferentes tratamientos y a lo largo de los ciclos productivos.
- Realizar un análisis económico de la aplicación de CCP en los sistemas hortícolas con el objetivo de determinar la factibilidad de este manejo agronómico.

8. BIBLIOGRAFÍA

- AFNOR. (2012). Norme V 09-500, Directives générales pour la réalisation d'épreuves hédoniques en laboratoire d'évaluation sensorielle ou en salle en conditions contrôlées impliquant des consommateurs.
- Agüero, M. V. (2011). Modelado de la evolución de índices de calidad integral de lechuga mantecosa desde la precosecha hasta el consumidor. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata.
- Albiach, R.; Canet, R.; Pomares, F. & Ingelmo, F. (2000). Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Biores. Technol.* 75: 43-48.
- Albiach, R.; Canet, R.; Pomares, F. & Ingelmo, F. (2001). Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendment to a horticultural soil. *Biores Technol.* 76, p.125-129.
- Aliyu, L. (2000). The effect of organic and mineral fertilizer on growth yield and composition of pepper (*Capsicum annum* L.). *BiolAgric Hort.*, 18:29-36.
- Allende, A.; Aguayo, E.; Artés, F. (2004). Microbial and sensory quality of comercial fresh processed red lettuce throughout the production Caín and shelf life. *International Journal of Food Microbiology*, v. 91, p.109-117.
- Alvarez, M.F.; Osterrieth, M.; Bernava Laborde, V.; Monti, L.F. (2008). Estabilidad, morfología y rugosidad de agregados de argiudoles típicos sometidos a distintos usos: su rol como indicadores de calidad física en suelos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Repositorio Institucional CONICET Digital.
- Álvarez-Solís, J. D.; Díaz-Pérez, E.; León-Martínez, N. S., & Guillén-Velásquez, J. (2010). Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*, 28(3), p 239-245.
- Andreau, R.; Gelati, P.; Provaza, M.; Bennardi, D.; Fernández, D. & Vázquez, M. (2012). Degradación física y química de dos suelos del Cordón Hortícola Platense. Alternativas de tratamiento. *Ciencia del suelo*, 30 (2).

- Araque, H.; González, C.; Sulbaran, L.; Quijada, J.; Vilorio, F. y Vecchionacce, H. (2006). Alojamiento alternativo e impacto ambiental en la producción alternativa de cerdos. [//www.researchgate.net/publication/238795469](http://www.researchgate.net/publication/238795469)
- Armstrong R.D.; Eagle C.; Jarwal S.D. (2007). Application of composted pig bedding litter on a Vertosol and Sodosol soil. 2. Effect on soil chemical and physical fertility Australian Journal of Experimental Agriculture, vol 47, p. 1341-1350.
- Aruani, M.C.; Gili, P.; Fernández, L.; González Junyent, R.; Reeb, P. & Sánchez, E. (2008). Utilización del Nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, Neuquén. Argentina. AGRO SUR 36 (3): p. 147-157. <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/4000>
- Bacigalupo, S.; Gerster, G.; Salvaggiotti, F. (2017). Ecorregión Pampeana. Centro-Sur de Santa Fe. Sistema Productivo: Agrícola continuo. En Wilson, M. G. Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina, p. 259-265. Ediciones INTA. ISBN 978-987-521-826-0
- Balcaza L. (2010). Utilización de compost en la conservación de suelos cultivados bajo cubierta en el Cinturón Hortícola Platense. Boletín Hortícola Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. La Plata, Pcia. Bs. As. ARInstituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Vol. 15, N° 45 p. 16-19.
- Barrientos Llanos, H., del Castillo Gutiérrez, C. R., & García Cárdenas, M. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 2 (1),p. 76-86.
- Blake, G.R. & Hartge K.H. (1986). Bulk Density. In: A Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. p. 363-375. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
- Blanco F.F. & Folegatti M.V. (2005). Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. Scientia Agricola 62: p. 305-309.

- Bongiovanni Ferreyra, M.G.; Orden L.; Perez Pizarro J. (2015). Informe Enmiendas orgánicas en la producción hortícola bajo cubierta. www.inta.gob.ar/documentos/enmiendas-organicos-en-la-produccion-horticola-bajo-cubierta.
- Boutroulle I. (2007). Mesure de l'appréciation des aliments par les consommateurs : état des pratiques et propositions méthodologiques. Thèse doctoral. Sciences du vivant. AgroParis Tech.
- Bray, R.H. & Kurtz, L.T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: p. 39-45.
- Brunetto, G.; Comin, J. J.; Schmitt, D. E.; Guardini, R.; Mezzari, C. P.; Oliveira, B. S. & Ceretta, C. A. (2012). Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 36(5), 1620-1628.
- Busso, A.; Ausilio, A. (1989). Mapa de suelos del campo experimental "José V. Villarino". Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Publicación técnica N° 5. ISSN 0326-7407.
- Campiño-Espinosa, G. P. & Ocampo Durán, A. (2007). Comportamiento de la temperatura de la cama profunda de cerdos de engorde utilizando racimos vacíos de palma de aceite *Elaeis guineensis* jacq. *Orinoquia*, 11(1), 65-74.
- Campitelli, P.A. (2010). Tesis: Calidad de compost y vermicompuestos para su uso como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.
- Cardoso, A.I.I.; Ferreira, K.P.; Vieira Júnior, R.M.; Alcarde, C. (2011). Alterações em propriedades do solo adubado com composto orgânico e efeito na qualidade das sementes de alface. *Horticultura Brasileira*, 29: p. 594-599. <http://www.scielo.br/pdf/hb/v29n4/a25v29n4.pdf>
- Carranza, C.; Lancho, O.; Miranda, D. and Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Batavia cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agron. colomb.* [online], vol.27, n.1, p.41-48. ISSN 0120-9965.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno J. X.; Aguilar-Santelises, A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP. Colección ICAPA. Chapingo, Estado de México, México.

- Castellanos, R. J. Z. (2004). Manual de Producción de Hortícola en Invernadero. INTAGRI. Celaya Gto. México. 469 pp.
- Ciampitti, I. A., & García, F. O. (2007). Requerimientos nutricionales. Absorción y Extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Boletín Técnico, Buenos Aires (Argentina): International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Chiesa, A. (2010). Factores precosecha y poscosecha que inciden en la calidad de lechuga. Horticultura Argentina, 29 (68), p. 28-32.
- Choudhary, M.; Bailey, L.D.; Grant, C.A. (1996). Review of the use of swine manure in crop production: effects on yield and composition and on soil and water quality. Waste Management & Research 14, p. 581-595.
- Clozza, M.N.; De Los Ríos, A.M.; Amato, A.V.; Leiva, D.R.; Garrido, G.R. y Ferrón, T. (2014). Caracterización del compostaje de residuos vegetales y su efecto sobre la acumulación de nitratos y metales pesados en especies hortícolas. San Justo: Universidad Nacional de La Matanza. <http://repositoriocyt.unlam.edu.ar/handle/123456789/301>.
- Comese, R.; González M.G.; Conti M.E. (2009). Cambios en las propiedades de suelo de huerta y rendimiento de *Beta vulgaris* var. Cicla (L.) por el uso de enmiendas orgánicas. *Rev. Ciencia del Suelo* 27 (2): p. 271-275. Versión impresa ISSN 1850-2067.
- Courtney, R.G. and Mullen, G.J. (2008). Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Biores. Technol.* 99: 2913-2918.
- Crisosto, C. H., & Mitchell, J. P. (2011). Factores precosecha que afectan la calidad de frutas y hortalizas. Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Tercera edición. Universidad de California, USA, p. 57-64.
- Cruz Martínez, E.; Almaguel, R.E.; Mederos, C.M. & Ly, J. (2010). Uso de camas profundas en los sistemas de engorde de cerdos en el sector campesino en Cuba. *Zootecnia Trop.* 28 (2): p, 183-191.
- Cuellas, M. V. (2017). Horticultura periurbana, análisis de la fertilidad de los suelos en invernaderos. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 33 (2), p. 163-173.

- Cuppett, S. L.; Mccluskey, M.; Paparozzi, E. T.; Parkhursp, D. A. 1999. Nitrogen and sulfur effects on leaf lettuce. *J. Food Quality* 22. p. 363-373.
- Dapoiny, L., Fleury, A., & Robin, P. (1997). Relation entre la vitesse relative de croissance et la teneur en azote chez la laitue (*Lactuca sativa* L) Effets du rayonnement et de la température. *Agronomie*, 17(1), 35-41.
- De Grazia, J.; Tittonell, P.; Chiesa, A. (2001). Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Cátedra de Horticultura y Floricultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Argentina *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. Vol.* 16 (3).
https://www.researchgate.net/profile/Javier_De_Grazia/publication/28124446_Efecto_de_la_epoca_de_siembra_radiacion_y_nutricion_nitrogenada_sobre_el_patron_de_crecimiento_del_cultivo_de_lechuga_Lectuca_sativa_L/links/544e55950cf26dda08900b94.pdf
- Di Rienzo, J.A.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Casanoves, F.; Tablada, M.; Robledo, C.W. (2016). Infostat Professional.
- Di Rienzo, J.A.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Casanoves, F.; Tablada, M.; Robledo, C.W. (2019). Infostat Professional.
- Domínguez, L. (2007). Guía para la evaluación sensorial de alimentos. AgroSalud (CIDA 7034161), Lima, Perú. <https://lac.harvestplus.org/wp-content/uploads/2008/02/Guia-para-la-evaluacion-sensorial-de-alimentos.pdf>
- Doñate M.T.; Rodríguez R.A.; Sidoti Hartmann B.; Luna M. (2010). Efecto de diferentes enmiendas orgánicas sobre la productividad de espinaca de ciclo invernal en cultivo ecológico bajo invernadero. Libro de resúmenes del XXXIII Congreso Argentino de Horticultura, Rosario, Santa Fe, p. 488.
- Doran, J.W. & Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: JW Doran, DC Coleman, DF Bezdicek, and BA Stewart (eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pub. No. 35, Soil Sci. Soc. Am., Am. Soc. Argon., Madison, WI. p. 3-21.

- Duval, M. E., Galantini, J. A., Martínez, J. M., López, F. M., & Wall, L. G. (2015). Evaluación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo. Repositorio.conicet.gov.ar.
- Esparza-Rivera, J.; Navarro, A.; Kendall, P.; Fortis, M.; Preciado, P.; Amrando, J. (2013). Aceptabilidad de lechuga de hoja fresco troceada, tratada con ácido ascórbico mediante hidrogenofriamiento. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4, (5): 767-778.
- Fernández, K.; Murillo, E. (2006). Evaluación de la calidad nutricional y desarrollo vegetativo de zanahoria (*Daucus carota* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con técnicas de agricultura limpia en la región de chapeton-municipio de ibagué. *Revista de Investigaciones U.G.C.* // Año 2 Edición No. 2, p. 144. <file:///D:/Mis%20Documentos/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeLaCalidadNutricionalYDesarrolloVegetat-5523104.pdf>
- Ferratto, J.; Mondino, M.; Grasso, R.; Ortiz Mackinson, M; Longo, A.; Carrancio, L.; Firpo, I.; Rotondo, R.; Zembo, J.; Castro, G.; García, M; Rodríguez Fazzone, M.; Iribarren, J. (2010). Buenas Prácticas Agrícolas para la Agricultura Familiar. Cadena de las principales hortalizas de hojas en Argentina. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. Setiembre 2010. ISBN 978-92-5-306573-8. 535 pp.
- Ferreras, L.; Gómez, E.; Toresani, S.; Firpo, I.T. & Rotondo, R. (2006). Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in horticultural soil. *Biores.Technol.* 97: p. 635-640. http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_27n1/Ferreras%20et%20al.pdf
- Fouladkhah, A.; Bunning, M.; Stone, M.; Stushnoff, C.; Stoniker, F.; Kendall, P. (2011). Consumer hedonic evaluation of eight fresh specialty leafy greens and their relationship to instrumental quality attributes and indicators of secondary metabolites. *J. Sens. Studies* 26:175-183.
- Gabioud, E. A., Wilson, M. G., & Sasal, M. C. (2011). Análisis de la estabilidad de agregados por el método de Le Bissonnais en tres órdenes de suelos. *Ciencia del suelo*, 29 (2), p. 129-139.

- Galantini, J. & Suñer, L. (2008). Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, vol. XXV, p. 41-55. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v25.n1.2740>
- Garcia, E. & Barrett, D. (2004). *Processing fruits science and technology*. p. 53-72.
- Gardner, F. P.; Brent Pearce, R. & Mitchel, R. L. (1985). Fijación de Carbono por los cultivos. Recuperado de http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/ecofisiologia/FIJACION_DE_CARBONO_POR_LOS_CULTIVOS.pdf.
- Gaviola, S. (1996). Factores de manejo que inciden sobre la calidad de las hortalizas. *Avances en Horticultura I* (1): p. 4-18. http://www.horticulturaar.com.ar/bajar.php?archivo=1996*96gaviola.pdf&nombre=Factores%20de%20manejo%20que%20inciden%20sobre%20la%20calidad%20de%20las%20hortalizas
- Giacomini, S. J., & Aita, C. (2008). Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. *Revista Brasileira de Ciencia do solo*, 32(1), 195-205.
- Gómez, E.; Ferreras, L. & Toresani, S. (2006). Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. *Biores. Technol.* 97: p. 1484-1489. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16168637
- González, M. G.; Conti, M. E.; Moreno, G. B., & Ferrero Holtz, E. (2011). Producción hortícola. evolución del carbono orgánico edáfico de un argiudol típico con agregado de enmiendas. *Horticultural production. Soil organic carbon evolution of a typical argiudoll under amendments added*. Repositorio FAUBA, Revista de la Facultad de Agronomía.
- Goñi, M.; Moreira, M.; Agüero M.; Ponce, A.; Roura, S. (2010). Ring Characterization Of Quality Indices In Butter head Lettuce Cultivated Under Mulch And bare Soil *Journal Of Food Quality*. DOI: 10.1111/J.1745-4557.2010.00327.X.
- Goñi, M.; Moreira, M.; Agüero M.; Roura, S. (2013). Impact of Production System on Quality Indices Distribution in Butterhead Lettuce: A Comparative Study among

- Open Field and Greenhouse. J Nutr Food Sci 3: 241. DOI: 10.4172/2155-9600.1000241
- Grasso, R.; Mondino, M.C.; Ortiz Mackinson, M.; Vita Larrieu, E.; Longo, A.; Ferratto, J. (2013). Censo 2012 del Cinturón Hortícola de Rosario. Ajuste del diagnóstico agronómico de necesidades y estrategias de intervención del Proyecto Hortícola de Rosario, 2013/2018. Publicación Miscelánea N° 50.- Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros-Centro Regional Santa Fe. ISSN 0326-256. pp. 31.
- Grasso. R.; Ortiz Mackinson, M.; Rotondo, R.; Calani, P.; Mondino, M.; Balaban, D.; Vita Larrieu, E.; Montian, G. 2018. Efecto de los sistemas de producción sobre el rendimiento y calidad de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en cultivo otoñal. Ciencia y Tecnología, Divulgación de la Producción Científica y Tecnológica de la UNR. XII Jornada 2017. UNR Editora 2018. p: 387-393. ISBN: 978-987-702-304-6.
- Grasso, R.; Rotondo, R.; Ortiz Mackinson, M.; Mondino, M; Calani, P.; Balaban, D.; Vita Larrieu, E. & Torres, P. (2018). Efecto de distintos sistemas de producción y formas de sujeción sobre las pérdidas poscosecha en Acelga (*Beta vulgaris* L. var. *cicla* L.). Revista FAVE, Sección Ciencias Agrarias 17 (N° 1) 10/9/2018, p.: 21-33. ISSN 1666-7719. e-ISSN 2346-9129.
- Guardini, R.; Comin, J. J.; Santos, D. R. D.; Gatiboni, L. C.; Tiecher, T.; Schmitt, D. & Brunetto, G. (2012). Phosphorus accumulation and pollution potential in a hapludult fertilized with pig manure. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36 (4), p. 1333-1342.
- Haynes, R. J. & Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. Nutrient cycling in agroecosystems, 51(2), p. 123-137.
- Hénin, S; Monnier, G. & Combeau, A. (1958). Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Ann. Agron. 9: 73-92.
- Hénin, S; Gras, R & Monnier R. (1972). El perfil cultural. El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ed. Mundi Prensa, Madrid. 342 pp.

- Hernández, A.; Castillo, H.; Ojeda, D.; Arras, A.; López, J. & Sánchez, E. (2010). Effect of Vermicompost and Compost on Lettuce Production. *Chilean journal of agricultural research*, 70(4), 583-589. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392010000400008>.<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4726/Campitelli%2C%20Paola.%20Calidad%20de%20compost%20y%20vermicompuestos%20para%20su%20uso...%20.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Hernandez Palomo, E. (2018). Desenvolupament de la metodologia per l'avaluació sensorial de l'enciam (*Lactuca sativa* L.) Escola Superior d'Agricultura de Barcelona - Grau en Enginyeria Alimentària. <http://hdl.handle.net/2117/123577>
- Horie, H. (2010). Analysis of lactucopicrins (bitter compounds) in lettuce by high-performance liquid chromatography. *Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science*, (9), p. 189-195.
- Iocoli, G. & Gómez, M. (2015). Utilización de digerido anaeróbico de purín de cerdo: actividad biológica del suelo y desarrollo vegetal. Utilization of anaerobic digestate of pig slurry: soil biological activity of soil and plant production. *Ciencia del Suelo*. 33, p. 1-9. ISSN 1850-2067. www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672015000100001&script=sci.
- Jackson, M. L. & Beltrán, J. (1964). Análisis químico de suelos. Editorial Omega, Barcelona. N° 631.41 J335 1982, pp 272-278.
- Julca-Otiniano, A.; Meneses-Florián, L.; Blas-Sevillano, R. & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24 (1), p. 49-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern (New method for the determination of nitrogen in organic substances), *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22, 1: p. 366-383.
- Kleinhenz, M. D.; Scheerens, J.C.; Francis, D.M.; Radovich, T.J.K.; French, D. G.; Gazula, A.; Wszelaki, A.; Sanchez Vela, A.; McInty-Re, A.A.C.; Delwiche, J.; Ling, P.; Amisi, K. & Dohann, D.J., (2003). *From Farm to Consumer - Linking Crop*

- Physiology and Production with Buyer oriented Quality. I. Vegetables. *Acta Horticulturae*. 1: 604: p. 95-103.
- Kortei, N.K. & Quansah, C. (2016). Influence of compost prepared from household waste and poultry manure in compost-soil mixtures on the growth and yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L). *Sci. Agri.*, 13: p. 163-167. <http://pscipub.com/Journals/Data/JList/Scientia%20Agricolturaerae/2016/Volume%2013/Issue%203/8.pdf>
- Kunz, A; Miele, M. & Steinmetz, R. (2009). Advanced swine manure treatment and utilization Brazil. *Bioresour Technol* 100: p. 5485-5489.
- Labrador, M. J. & Altieri, A. M. (2001). La materia orgánica en los agroecosistemas: Aproximación al conocimiento de la dinámica. la gestión, y la reutilización de la materia orgánica en los agroecosistemas. Ediciones Mundi Prensa, 293.
- Lamelas, K.; Maisonnave, R.; Mair1, G.; Rodríguez, N. (2019). Cama de pollo. Valor agronómico. Caracterización físico química de la cama de pollo de granjas integradas de parrilleros de la costa este de la provincia de Entre Ríos. Ministerio de Agroindustria de la Nación.
- Larney, F.J. & Hao, X. (2007). A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresource Technology*, 98 (17), p. 3221-3227.
- Lavado, R. (2012). Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. En M. M. Satti, *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. P. 3-12. Buenos Aires: UNRN y Orientación Gráfica Editora.
- León A.; Frezza, D.; Chiesa, A. (2007). Evolución del color en lechuga (*Lactuca sativa* L.) mantecosa mínimamente procesada: efecto del troceado y la inmersión del cloruro de calcio. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones. <https://es.scribd.com/document/245766202/69212-pdf>
- León, A. P., Viña, S. Z., Frezza, D., Chaves, A., & Chiesa, A. (2007). Estimation of Chlorophyll Contents by Correlations between SPAD-502 Meter and Chroma Meter in Butterhead Lettuce. *Communications in soil science and plant analysis*, 38 (19-20),2877-2885

- Lespinasse, N.; Scandella, D.; Vaysse, P.; Navez, B. (2004). Mémento évaluation sensorielle des fruits et légumes frais, édition CTIFL.
- López E. (2013). Efecto de la aplicación de diferentes tipos de fertilizantes orgánicos en el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa*, L.). FCA-UNA. <https://es.slideshare.net/evelioramirez7186/diferentes-fuentes-de-fertilizantes-organicos-en-el-cultivo-de-lechuga-evaluadas-a-los-40-dias>.
- López-Mosquera, M.E; Carballo M.E.; Cabaleiro, F.; Carral, E.; Lema, M.J.; López-Fabal, A. & Sainz, M.J. (2003). Valorización agronómica de estiércol de pollo deshidratado y granulado en el cultivo de lechuga (tipo trocadero) bajo invernadero. Actas de Horticultura Nº 39. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas Pontevedra.
- Magrí, L. I. (2020). Manejo de los residuos de cama profunda en un sistema de producción porcina mediante el compostaje. Tesis de maestría Manejo y Conservación de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrarias, UNR.
- Malatay, J.A.L. (2012). Estudio de tres niveles de compost en el cultivo de la lechuga variedad repollo (*Lactuca sativa* L.), en suelos andisoles. Tesis de grado. dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5499/.../Malatay%20Lucero%20José.pdf
- Maroto Borrego, J.V.; Gómez, A. y Baixauli Soria, C. (2000). La Lechuga y La Escarola. Ediciones Mundi-Prensa. 242 pp.
- Marchesini, A., Allievi, L., Comotti, E., & Ferrari, A. (1988). Long-term effects of quality-compost treatment on soil. *Plant and Soil*, 106 (2), p. 253-261.
- Martínez H, Eduardo; Fuentes E, J. P. & Acevedo H, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8 (1), p. 68-96. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Mazzarino, M. J.; Satti, P.; Moyano, S, & Laos, F. (2004). Compost de biosolidos: Efecto del tamizado sobre la inmovilización de nitrógeno del suelo. *Ciencia del suelo*, 22 (1), p. 19-26.
- Mazzarino, MJ; Satti, P; Roselli, L. (2012). Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. *El Compostaje en la Argentina. Experiencias en producción, calidad y uso*. Editorial UNRN-Orientación Gráfica Editora. p. 13-28.

- McAndrews, G. M.; Liebman, M.; Cambardella, C. A. & Richard, T. L. (2006). Residual effects of composted and fresh solid swine (*Sus scrofa* L.) manure on soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] growth and yield. *Agronomy Journal*, 98 (4), p. 873-882. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0078>
- Menezes, E. M. S.; Fernandes, E. C. e Sabaa-Srur, A. U. O. (2005). Folhas de alface lisa (*Lactuca sativa*) minimamente processadas armazenadas em atmosfera modificada: análises físicas, químicas físico-químicas. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos* 25 p. 60-62.
- Ministerio de Agroindustria de la Nación. (2017). Caracterización nacional sector porcino. Área de Porcinos-Dirección Nacional de Producción Ganadera-Subsecretaría de Ganadería. https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/porcinos/estadistica/_archivos/000008_Caracterizaci%C3%B3n%20Nacional%20Porcina/000000_Caracterizaci%C3%B3n%20Nacional%20Porcina.pdf
- Ministerio de Agroindustria de la Nación. (2018). Boletín Porcino. https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/porcinos/estadistica/_archivos/000000_Bolet%C3%ADn%20Porcino/000000_Bolet%C3%ADn%20Porcino%202018.pdf
- Mondino, C.; Ferratto, J. (2006). El análisis sensorial, una herramienta para la evaluación de la calidad desde el consumidor. *Revista Agromensaje* N° 18 de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. p 16 - 24. <https://rephip.unr.edu.ar/handle/2133/554>
- Montian, G. (2016). *Projet Agr'Oeuf. Test consommateur d'oeufs de poule*. Tesis de maestría en análisis sensorial.
- Morales, D., Vargas, M. M., Oliveira, M. P. D., Taffe, B. L., Comin, J., Soares, C. R., & Lovato, P. (2016). Response of soil microbiota to nine-year application of swine manure and urea. *Ciencia Rural*, 46(2), 260-266.
- Muguiro, A.; Álvarez, C.; Babinec, F. & Marano, R. (2017). Rehabilitacion de suelos hortícolas: impacto de prácticas agrícolas con uso de yeso y drenaje. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 16 (2), p. 69-90. <https://doi.org/10.14409/fa.v16i2.7020>

- Musto, M.; Cardinale, D.; Lucia, P. & Faraone, D. (2015). Influence of Different Information Presentation Formats on Consumer Acceptability: The Case of Goat Milk Presented as Obtained from Different Rearing Systems: Information Formats and Goat Milk Acceptability. *Journal of Sensory Studies*, 30 (2), p. 85-97
- Neumann, P. (1997). Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant Cell Environ.* 20, 1193-1198. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-139.x>
- Norma IRAM 21322:2006. (2017). Método del conductímetro relación suelo:agua 1:2,5. (en discusión pública).
- Norma IRAM-SAGPyA 29570-1. (2010). Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1- Método Bray Kurtz 1 modificado.
- Norma IRAM-SAGPyA 29571-2. (2009). Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2- Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro.
- Norma IRAM-SAGPyA 29574. (2009). Determinación del pH en suelo para uso agropecuario. Método electrométrico pH en agua (1:2,5). En discusión pública.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2012). Manual de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar.
- Ortiz Mackinson, M.; Grasso, R.; Rotondo, R.; Calani, P.1; Mondino, M.; Balaban, D.; Vita Larreau, E.; Montian, G.; Barbona, I. (2017). Efecto de distintos sistemas de producción y formas de sujeción sobre las pérdidas poscosecha de rúcula. *Horticultura Argentina* 36 (91): Sep. - Dic. 110-121, 2017. ISSN de la edición on line 1851-9342.
- Paladino I.R.; Sokolowski A.C.; Irigoien J. (2018). Soil properties evaluation in horticultural farms of Florencio Varela, Buenos Aires, Argentina. *Environ Earth Sci* 77:411.
- Parr, J.F. & Hornick, S.B. (1993). Utilization of municipal wastes. En: F.Blaine Metting Jr. (Ed.) *Soil Microb. Ecol.* p. 545-559.

- Paterlini, H.; González, M.V.; Picone, L. I. (2019). Producción de lechuga en un suelo con aplicación de compost de cama de pollo. *Ciencia del Suelo*, 37 (1).
- Patrick, J.W. (1988). Assimilate partitioning in relation to crop productivity. *HortScience*, v. 23, p. 33-40.
- Pegararo, V.; Bonetto, M.; Moyano, S.; Aimetta, B.; Baigorria, T.; Boccolini, M.; Cazorla, C.; Rizzo, P. (2015). Evaluación de la estabilidad durante el compostaje de cama profunda porcina. *Información de actualización técnica. EEA Marcos Juárez*, (35).
- Pegararo, V. R., Boccolini, M. F., Baigorria, T., Rizzo, P. F., Lorenzon, C. A., Cazorla, C. R. (2019). Aplicación de compost de cama profunda porcina: calidad de suelo y producción de soja (*Glycine max L.*). Ediciones INTA.
- Peil, R. M. & Gálvez, J. L. (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *R. bras. Agrociência*, vol.11, n. 1, p. 05-11.
- Picallo, A. & Grigioni, G. (1999). Métodos para la evaluación de la calidad de alimentos. INTA INFORMA (Argentina). N° 56. http://www.inta.gov.ar/info/intainfo/ant/1999/56_dic_99.htm.
- Prack Mc Cormick, B.; Rodríguez, H.; Sokolowski, A. C.; Gagey, M. C.; Wolski, J.; Barrios, M. (2019). Evaluación experimental de la calidad del suelo en respuesta a prácticas de manejo hortícola. La cama de pollo. V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU). Centro de Investigaciones Geológicas. ISBN: 978-987-96296-7-3. p: 58-61.
- Quintero Arias, D.G. (2015). Efecto de dos condiciones de protección de cultivo sobre los índices de crecimiento y producción de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa*) tipo gourmet en la Sabana de Bogotá. Maestría, Universidad Nacional de Bogotá. <http://www.bdigital.unal.edu.co/50136/>.
- Raigón, M. D.; Figueroa, M.; García-Martínez, M. D.; Soler, S., y Prohens, J. (2012). Variación en la composición química y características organolépticas de una colección de variedades tradicionales de lechuga procedentes de cultivo ecológico. VI Congreso de Mejora Genética de Plantas. Capítulo 5. Mejora genética de especies hortícolas. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario

(SERIDA).

<http://www.sech.info/ACTAS/index.php?d=.%20Acta%20n%C2%BA%2062.%20VI%20Congreso%20de%20mejora%20Gen%C3%A9tica%20de%20Plantas/>

- Rearte, D.H. (2010). Producción Mundial de Carne Bovina, Porcina y Aviar. AEGA (Área Estratégica de Gestión Ambiental) y EEA BALCARCE. Cito en: inta.gob.ar/sites/.../script-tmp-documento_base_del_programa_nacional_carnes.pdf
- Reynolds, W. D.; Yang, X. M.; Drury, C. F.; Zhang, T. Q. & Tan, C. S. (2003). Effects of selected conditioners and tillage on the physical quality of a clay loam soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 83 (4), p. 381-393.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Barat, J. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18 (7), p. 373-386.
- Rodríguez Torres, M.D.; Venegas González, J.J.; Angoa, P. & Montañez Soto, J.L. (2010). Extracción secuencial y caracterización fisicoquímica de ácidos húmicos en diferentes compost y el efecto sobre trigo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1 (2), p. 133-147.
- Rodríguez, G.R.; Moysenko, J.B.; Robbins, M.D.; Morejón, N.H.; Francis, D.M. y Van Der Knaap, E. (2010). Tomato Analyzer: a useful software application to collect accurate and detailed morphological and colorimetric data from two-dimensional objects. *Journal of Visualized Experiments* (37). DOI 10.3791/1856.
- Roessler, E.B.; Baker, G.A.; Amerine, M.A. (1956). One - tailed and two tailed test in organoleptic comparisons. *Food Res.*21: 117. Citado por Anzualda Morales, A. (1994). *La evaluación de alimentos en la teoría y en la práctica*. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza. España, p. 161-162.
- Román, P.; María, M.; Martínez, M.M. & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. 108 pp.
- Romaniuk, R.; Giuffre, L.; Romero, R. (2010). Efecto del agregado de vermicompost sobre propiedades física, químicas y biológicas de un Hapludol típico de la Pampa Deprimida. *Rev. de la Facultad de Agronomía U.B.A* 30 (1-2): p. 85-93.

- Rotondo, R.; Firpo, I.T.; Ferreras, L.; Toresani, S.; Fernández, S.; Gómez, E. (2009). Efecto de aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Horticultura Argentina* 28(66): may.-ago. 2009. p. 18-25.
- Sainz Rozas, H.; Echeverría, H.; Angelini, H. (2012). Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y Extra Pampeana argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(1), p. 33-39.[fecha de Consulta 4 de Marzo de 2020]. ISSN: 0325-8718. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=864/86423614007>.
- Salusso, F. A., Plevich, J. O., Delgado, A. R. S., Ramos, D. F.; Grosso, L. E. (2017). Efectos del uso de manta térmica sobre variables ambientales y rendimiento de un cultivo de lechuga. *Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng*, 25(1), 74-82. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i1.692>.
- Sánchez Hernández, R.; Ordaz Chaparro, V.; Benedicto Valdés, G.; Hidalgo Moreno, C.; Palma-López, D. (2005). Cambios en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricomposto de cachaza y estiércol. *Interciencia* 2005, 30 (12).
- Sánchez Hernández, R.; Ordaz Chaparro, V.; Valdés, G.; Moreno, M.; Palma, David. (2006). Regeneración estructural de un suelo arcilloso por aportes de vermicompost en la chontalpa, tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, ISSN 0186-2979, Vol. 22, Nº. 1, 2006, p. 13-26
- Sánchez, T.M.; Siliquini, O.A.; Gilí, A.; Baudino, E.M. & Morazzo, G.C. (2012). Contenido de nitratos y proteína en lechuga crespa y amaranto hortícola producidos con enmienda y urea. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18 (2), p. 217-226. <https://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.02.027>
- Sasal, C.; Andriulo, A.; Ulle, J.; Abrego, F.; Bueno, M. (2000). Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región pampeana húmeda. *Ciencia del Suelo* 18 (2) 2000 p. 95-104.

- Saavedra, G., Corradini, F., & Antúnez, A. (2017). Manual de producción de lechuga. Boletín INIA N°374. Biblioteca digital CEDOC-CIREN. Instituto de investigación Agropecuaria, Chile.
- SENASA (2014). Estadísticas e informes cadena animal. Movimiento de ganado porcino 2014: Informe estadístico de producción porcina. Unidad presidencia. Coordinación general de desarrollo y planificación estratégica. 71 pp. Disponible en: <http://www.senasa.gov.ar/cadena-animal/porcinos/informacion/informes-y-estadisticas>.
- SENASA (2019). Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost. Resolución conjunta 1-2019, Anexo I. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Disponible en: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-1-2019-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria>.
- Skejich, P.; Spinollo, L.; Somenzini, D.; Caratan, P.; Derma, S.; Abdul Ahad, J.; Mijoevich, F.; Dichio, L.; Campagna, D.; Silva, P. (2015). Análisis preliminar de los parámetros productivos en cerdos alojados en sistemas al aire libre y en “cama profunda”. IX Jornada de Ciencia y Tecnología. Rosario, 11 de noviembre de 2015. Organizado por Secretaría de Ciencia y Tecnología. Foro Permanente de Discusión de Ciencia y Tecnología
- Soil Science Society of America. (1997). Glossary of Soil Science Terms 1996. Soil Science Society of America. Madison WI. 138 pp.
- Soto, E.; Hernández, M.; Santos, H.; Ortiz, E. & García, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. Revista Iberoamericana de Ciencias, 3 (5), p. 8. Retrieved from <http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1800105.pdf>
- Suárez Guato, D.J. (2013). Determinación de los cambios físico-químicos, sensoriales y microbiológicos en la lechuga (*Lactuca sativa*), variedad capitata sometida a tratamiento con luz ultravioleta de onda corta (UV-C). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Bioquímica. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/6737>
- Subbarao, K.; Gilberston, R.; Raid, R.; Davis, M. (2017). Compendium of Lettuce Diseases and Pests: Second Edition. American Phytopathological Society. 658 pp.

- Tejada, M. & Gonzalez, J.L. (2003). Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions, *Eur. J. Agron.* 19: p. 357-368.
- Tittonell, P.; De Grazia, J. & Chiesa, A. (2001). Effect of nitrogen fertilization and plant population during growth on lettuce (*Lactuca sativa* L.) postharvest quality. *Acta Hortic.* 553, p. 67-68 DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.553.4 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.553.4>
- Toledo, G. L. (2009). Efecto de antipardeantes sobre cuatro tipos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) sometidas a mínimo proceso. Repositorio académico de la Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111136>.
- Trevor, V.S. y Cantwell, M. (2011). Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha. Disponible en www.postharvest.technology.ucdavis.
- Turazi, C., Junqueira, A. M. R., Oliveira, S. A. D., & Borgo, L. A. (2006). Acúmulo de nitrato em alface em função da adubação, horário de colheita e tempo de armazenamento. *Horticultura Brasileira*, 24(1), 65-70.
- USDA. (1999). Soil Quality Test Kit Guide. USDA-Agriculture Research Service. SCS. USA. 82 pp. https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=nrcs142p2_053873
- Valenzuela, O. (2019). El cultivo sin suelo y la sustentabilidad de las producciones intensivas. Ediciones INTA. Boletín de Divulgación Técnica / EEA San Pedro; no. 24.
- Vázquez, M., Terminiello, A. (2008). Recuperación de suelos degradados de pequeños productores del cinturón hortícola del Gran La Plata. Valoración del problema y estrategias correctivas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. 162 pp. https://www.agro.unlp.edu.ar/sites/default/files/paginas/2008._manual_cinturon_horticola_la_plata_directora_mabel_vazquez.pdf
- Vidigal, S. M., Sediya, M. A. N., Pedrosa, M. W., & dos Santos, M. R. (2010). Produtividade de cebola em cultivo orgânico utilizando composto à base de dejetos de suínos. *Horticultura Brasileira*, 28 (2), p. 168-173.

- Vignoni, L.; Césari, R.; Forte, M.; Mirábile, M. (2006). Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. URL https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-7642006000600011&script=sci_arttext.
- Walkley, A. & Black, I.A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: p. 29-38.
- Westland, S.; Graham, C.; Addison, S.; Sharrott, P.; Rigg, B. (2001). Effect of sleeve color and background color on change in color assessments. *Coloration Technology* 117 (3), p. 123-126.
- Whalen, J. K. & C. Chang. (2002). Macroaggregate Characteristics in Cultivated Soils after 25 Annual Manure Applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1637-1647.
- Wilson M. G. (2017). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. 1a ed. Entre Ríos: Ediciones INTA, 2017. https://inta.gob.ar/sites/default/files/manual_ics_final.pdf
- Zerpa, G.; Sosa, O.; Berardi, J.; Bolatti, J.; Galindo, A.; Maldonado, J. (2013). La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. *Revista Agromensajes, FCA, U.N.R.V.*35, p. 64-68
- Zimerman, M.; Bottegal, D.; Garrappa, G.; Martinez, G. (2016). Producción de cerdos en sistema de cama profunda. *Memorias XIII Congreso Nacional de Producción Porcina. XIX Jornadas de Actualización Porcina Porcina. VIII Congreso de Producción Porcina del Mercosur 2016.* (P13, p. 184). Universidad Nacional de Río Cuarto. ISBN 978-987-688-177-7 Primera Edición: Agosto de 2016. www.unrc.edu.ar/unrc/editorial.cdc

9. ANEXOS

Anexo I. Temperaturas medias (TM), humedad relativa (H) y precipitaciones ocurridas (Pp) desde mayo de 2017 a mayo de 2018

Mes	Mayo-2017			Junio-2017			Julio-2017			Agosto-2017		
Días	TM	HR	Pp	TM	HR	Pp	TM	HR	Pp	TM	HR	Pp
1	18,4	64		8,0	90		10,0	91		12,2	96	
2	20,5	82		8,5	91		11,5	82		13,3	86	
3	20,1	83		9,3	93		13,8	69		9,0	84	
4	20,4	83		10,8	85		16,5	72	0,5	10,3	86	
5	19,3	87		9,0	72		16,7	86		11,6	82	
6	20,5	80		8,3	79		9,5	93		16,7	84	
7	21,9	86	13,0	8,0	91		11,3	98	21,0	14,0	93	
8	19,2	87		9,5	85	0,4	11,2	88		14,0	84	15,0
9	13,6	78		10,6	69		11,1	96	4,0	9,5	88	
10	13,3	70	0,5	15,2	64		11,5	93		13,8	88	
11	13,0	86	18,0	12,3	71		9,9	93	0,3	15,0	97	3,5
12	13,2	94		9,3	83		15,0	95		13,3	80	0,1
13	14,8	89	3,5	10,8	89		18,0	83		10,0	71	
14	13,0	90		10,9	88		14,4	86		12,1	69	
15	15,5	81		16,4	94		14,2	86		14,1	82	
16	12,5	90		21,8	86		5,8	70		10,6	72	
17	14,8	82		21,3	79		4,0	55		17,7	75	
18	14,2	92	1,0	7,2	74		7,8	63		15,8	77	
19	11,5	85		6,4	65		9,8	65		9,3	85	1,0
20	9,0	87		4,9	74		12,0	68		9,5	72	
21	14,6	75		10,3	82		10,8	78		11,1	70	
22	14,8	81		12,0	84		12,0	74		13,5	67	
23	14,4	82		21,0	78		14,9	82		13,5	82	
24	15,7	93	0,8	21,0	83		14,4	89		12,0	94	5,0
25	16,4	93		22,0	72		12,9	91		17,5	100	1,5
26	14,3	65		18,3	73	15,0	15,8	92		15,3	92	
27	6,8	83		17,3	93		19,3	90		16,5	92	0,3
28	9,9	85		10,8	90	0,2	20,5	65		13,8	92	
29	11,9	87		11,3	83	0,2	18,1	82		12,3	98	
30	12,0	87		12,5	86		12,3	92		9,8	69	
31	9,8	90					10,2	94		9,8	71	
Promedio	14,8	84	36,8	12,5	81	15,8	12,7	83	25,8	12,8	83	26,4

Anexo I. Temperaturas medias (TM), humedad relativa (H) y precipitaciones ocurridas (Pp) desde mayo de 2017 a mayo de 2018 (Continuación)

Mes Días	Septiembre-2017			Octubre-2017			Noviembre-2017			Diciembre-2017		
	TM	HR	Pp	TM	HR	Pp	TM	HR	Pp	TM	HR	Pp
1	16,1	80		12,5	81		21,8	54	16,5	22,3	69	
2	22,3	78		13,7	74		18,8	84	3,5	22,5	88	12,0
3	15,6	97	0,3	16,3	67		19,1	61		22,3	82	
4	13,5	75		20,8	61		17,8	62		21,4	75	
5	9,8	83		21,3	69		18,3	68		21,5	73	
6	14,8	79		15,0	67		20,8	67	65	24,0	69	
7	13,1	76		14,3	76		20,1	81	0,8	23,8	81	
8	7,5	94		15,8	85		20,2	76		25,3	59	
9	13,3	93	29,0	16,5	74		19,6	61		23,3	60	
10	13,4	94	7,5	14,8	75		20,8	61		22,7	54	
11	13,6	71		14,8	72	1,2	21,0	61		19,3	60	
12	11,0	78		13,5	85	2,0	20,6	57		21,8	62	
13	7,5	85		13,5	68		24,2	64		24,5	77	9,0
14	11,3	75		13,6	64		25,0	62	0,5	23,0	71	
15	11,2	81		16,2	67		26,0	64		25,3	44	
16	12,0	80		18,3	70	0,4	17,8	67		28,1	72	80,5
17	13,2	77		19,3	88		20,8	61		19,8	82	
18	11,0	71		20,2	91	23,8	15,6	56		17,8	52	0,2
19	13,0	74		16,4	64		19,8	58		19,0	91	3,0
20	21,8	78	31,5	17,3	74		20,3	81	2,0	23,2	74	
21	11,2	97	14,3	17,5	69		19,0	68		24,4	84	
22	12,7	84		10,2	68		20,3	60		26,5	80	45,0
23	14,7	98		14,5	60		25,0	52	0,6	22,8	85	
24	16,1	76		19,0	61		12,4	86	8,5	21,8	60	
25	18,5	81		20,5	72		15,4	83		22,0	66	
26	17,0	97		21,8	71	14,0	18,9	61		22,5	63	
27	12,3	86	25,0	18,5	77		21,5	59		25,3	72	
28	11,5	96		16,6	76		18,5	65		28,0	71	
29	10,5	88		17,1	79	3,0	22,6	71		27,8	71	
30	13,5	88	54,0	17,8	70		23,4	68		27,3	70	13,0
31				17,0	62					21,8	91	
Promedio	13,4	84	161,6	16,6	72	44,4	20,2	66	38,9	23,2	71	162,7

Anexo I. Temperaturas medias (TM), humedad relativa (H) y precipitaciones ocurridas (Pp) desde mayo de 2017 a mayo de 2018 (Continuación)

Mes	Marzo-2018			Abril-2018			Mayo-2018		
Días	TM	HR	Pp	TM	HR	Pp	TM	HR	Pp
1	24,0	76		22,7	96	13,5	15,2	89	20,5
2	24,5	72		19,8	90	0,2	16,5	95	21,0
3	24,0	78		21,8	81		18,8	95	13,5
4	26,0	75	4,0	20,7	84		20,3	94	0,5
5	22,5	77		22,1	72	28,0	18,8	91	0,5
6	19,0	63		15,0	96	46,0	20,3	100	5,0
7	16,3	74		18,3	97	17,0	20,0	94	4,0
8	20,8	69		20,1	94		20,5	97	0,9
9	24,8	67		24,9	80		18,8	96	11,3
10	26,3	66	12,0	26,9	68		17,3	98	45,5
11	18,3	94		29,3	71		15,9	76	
12	16,3	59		18,3	62		14,8	84	
13	23,0	68		12,0	75		15,7	86	
14	23,2	69		16,5	82		18,3	86	
15	16,6	59		17,3	76		18,0	62	
16	16,5	59		20,5	72		12,6	78	
17	22,5	84	2,0	23,3	79		12,4	92	0,5
18	20,8	74		26,0	75		13,0	84	1,0
19	16,7	64		26,0	79	39,0	9,0	84	
20	18,7	61		22,1	93		9,5	88	
21	15,0	79		21,1	86		13,0	77	
22	19,8	71		22,1	97	25,0	9,8	71	
23	23,8	77		20,3	85		12,8	72	
24	19,8	65		20,3	92		11,3	80	
25	14,3	70		23,9	85		10,3	84	
26	12,8	71		24,9	75		14,0	85	
27	15,3	78		26,8	73		16,0	85	
28	18,5	77		21,5	96		19,0	78	
29	20,0	63		20,7	95	1,5	21,2	77	7,5
30	23,3	92		19,5	94	2,4	15,7	90	
31	25,2	56					10,7	89	
Promedio	20,3	71	18,0	21,5	83	172,6	15,4	86	131,7

Anexo II. Test de Roessler

Número de juicios	Pruebas bilaterales* Nivel de probabilidad		
	5%	1%	0,1%
5	-	-	-
6	-	-	-
7	7	-	-
8	8	8	-
9	8	9	-
10	9	10	-
11	10	11	11
12	10	11	12
13	11	12	13
14	12	13	14
15	12	13	14
16	13	14	15
17	13	15	16
18	14	15	17
19	15	16	17
20	15	17	18
21	16	17	19
22	17	18	19
23	17	19	20
24	18	19	21
25	18	20	21
26	19	20	22
27	20	21	23
28	20	22	23
29	21	22	24
30	21	23	25
31	22	24	25
32	23	24	26
33	23	25	27
34	24	25	27
35	24	26	28
36	25	27	29
37	25	27	29
38	26	28	30
39	27	28	31
40	27	29	31
41	28	30	32
42	28	30	32
43	29	31	33
44	29	31	34
45	30	32	34

Anexo II. Test de Roessler (Continuación)

46	31	33	35
47	31	33	36
48	32	34	36
49	32	34	37
50	33	35	37
60	39	41	44
70	44	47	50
80	50	52	56

*Número mínimo de juicios coincidentes necesario para establecer diferencias significativa.

Fuente: Roessler y col. (1956)

Anexo III. Valores de elementos traza acumulados con aplicaciones anuales de compost de cama profunda porcina y carga máxima admitida en 10 años según Resolución SENASA 1-2019

Elementos traza	Valores acumulados por el compost en 10 años (kg.ha ⁻¹)			Carga máxima admitida en 10 años (kg.ha ⁻¹)
	T1	T2	T3	
Cadmio	0,29	0,44	0,59	0,50
Cobre	28,92	43,38	57,84	40,00
Cromo total	5,19	7,79	10,38	10,00
Mercurio	0,22	0,33	0,44	0,30
Níquel	3,11	4,67	6,23	10,00
Plomo	2,34	3,50	4,67	50,00
Zinc	42,64	63,96	85,28	100,00

T1, T2 y T3: 6, 9 y 12 kg.m⁻² de aplicación de CCP